



С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік
университетінің ғылыми журналы
Научный журнал Павлодарского государственного
университета имени С. Торайғырова

1997 ж. құрылған
Основан в 1997 г.



İ Ì Ó
ÕÀÁÀÐØ ÛÑÛ
ÂÃÑÒÍ ÈÊ Ì ÑÓ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРИЯ

3 2014

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на учет средства массовой информации

№ 14310-Ж

выдано Министерством культуры, информации и общественного согласия

Республики Казахстан

17 апреля 2014 года

Кислов А.П., к.т.н., доцент (главный редактор);
Леньков Ю.А., к.т.н., доцент (заместитель главного редактора);
Акаев А.М., (ответственный секретарь);

Редакционная коллегия:

Алиферов А.И., д.т.н., профессор, зав.каф.НГТУ (г. Новосибирск, Россия);
Боровиков Ю.С., к.т.н., профессор, Национальный исследовательский
ТПУ, проректор-директор Энергетического института (г. Томск, Россия);
Новожилов А.Н., д.т.н., профессор;
Горюнов В.Н., д.т.н., профессор, ОмГТУ, директор Энергетического
института (г. Омск, 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. (тех. редактор).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.

Мнение авторов публикаций не всегда совпадает с мнением редакции.

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов.

Рукописи и дискеты не возвращаются.

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник ПГУ» обязательна.

МАЗМҰНЫ

Азаматова Д. А., Тулебаева Ж. А. ҚСЖ жүйесінің сорғылық жабдықтарын тиімді қолдану	12
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжұманов М. Қ., Кәріпбаев С. Ж. Электростатикалық гироскоп роторының нутациялық тербелісінің демпфирлеу механизмі	16
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжұманов М. Қ., Кәріпбаев С. Ж. Электростатикалық гироскоптың инерция моменті айнымалы серпімді роторының жанаспаған ілгіштегі қозғалысы	25
Ахметбаев Д. С., Ахметбаев А. Д. Екі полюстік қарсыласудың жүйелі функциялары	33
Бек Е. В. АҚШ-тағы сланц көтерілісінің еуропалық газ нарығына ықпалы	43
Бек Е. В. Еуропалық газ нарығындағы «Газпром экспорт» ЖШБ ұзақ мерзімді келісімдерін (ҰМК) қайта қарау	46
Бороденко В. А. MATLAB басқару жүйесінің тұрақтылығын бағалау жайлы.....	51
Бороденко В. А. MATLAB үдерісіне ауысуының талдау көрінісі	62
Гоненко Т. В., Хацевский В. Ф., Гоненко К. В. Автоматтық өрт- сөндіруге арналып қойылатын жабдық	69
Глокк К. С. Мазутты кешендерді автоматтандыру	75
Джаманбаев М. А., Токенов Н. П. Статистикалық мәліметтер бойынша Қазақстан аймақтарындағы желілердің билеуін зерттеу	81
Исенова А. Ж. Өндірістік бөлмелердің желдету жүйесін модернизациялау	86
Комлева Е. В. Ядролық қалдықтар мәселесінің антропоэкоуметтік аспектілері	90
Қалиев Б. З., Садвокасова Г. М., Габдулов А. О. Энергетикалық түрленудің кейбір сипаттары туралы	121
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Орташа және әсерлік мөндер ток бағалауы, қуаттың статикалық ысыраптардың керілеуіштер коммутациясы кезеңінде электр жабдықтау жүйелерімен жаңғыртылатын қуат көзі анықтады	129
Кайдар А. Б., Копырин В. С., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Электр жабдықтау жүйелер ендік-импульстік керілеуіш модуляциясымен тәжірибелік зерттеулер жаңғыртылатын қуат көзімен бірге	137
Кайдар А. Б., Говорун В.Ф., Шапкенов Б. К. Тұрақты тоқтың салғылары мен желісінің қолдану проблемалары мен тиімді жағы	144

Кайдар А. Б., Кислов А. П., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Акаев А. М.	
Электр тұтынушыларды жүйелік реттеу электрмен қамтамасыз ету жүйелерінің параметрлерін оптимизациялауға арналған	153
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Падруль Н. М.	
Жел энергиясының әсерінен жоғарғы тиімділік	158
Кислов А. П., Марковский В. П., Дерезягин С. И., Игонин С. И., Кривко Л. И.	
Цилиндрлік қыздыру жүйесіне индукторға қосу және магнитті сымның әсері	165
Лопатина Л. Г., Никитин К. И.	
Күрмеусіз кернеудің бағытталған тоқтық қорғау алгоритмі	174
Лукутин Б., Сарсикеев Е., Кислов А., Мұстафина* Р.	
Энергияжабдықтау автономды жүйелерінің мысалында энергия тиімділігінің критерийлерін және факторларын қалыптастыру	181
Лукутин Б., Сурков М., Сарсикеев Е., Мұстафина Р., Мұстафина Д.	
Айналу жиілігі айнымалы болатын автономды жел дизельді электр станциясының математикалық моделі	189
Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Любецкая М. А.	
Ауа жылытқыш қондырғының математикалық қалыбын жете зерттеу	195
Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И.	
Калориферлік қондырғының ауа қысымын реттеу жүйесінің математикалық қылыбын жете зерттеу	200
Муқанова Б. Ф.	
Георадиолокациялар қорының деректерінің құрылымы және деректерді типтерге бөлу	205
Никифоров А. С., Приходько Е. В.	
Брикеттік отынды қолдануында және дамуына қазіргі заманауи тенденциялар	216
Нагорнюк А. А., Писарчук А. А.	
Дөңгеленген формадағы фазалық жұлдызшалы сандық радиодабылдардың параметрлерін автоматты анықтау	220
Новожилов А. Н., Акаев А. М., Новожилов Т. А., Волгина Е. М.	
Жұмыс режимінде синхронды қарымталағыштың орамаларындағы токтарды анықтауға арналған қарапайым математикалық үлгі	232
Оришевская Е. В., Приходько Е. В.	
Аэросүзгі жұмысы кезеңдегі Екібастұз көмір күлдігінің микроскоптық анализы	237
Птицын Д. В., Птицына Е. В., Кислов А. П., Бойко Г. Ф.	
Асинхронды қозғалтқыш жұмысына жиіліктің ықпалы	243
Хацевский В. Ф., Хацевский К. В.	
Сұйықтықтың өндеу мен қызуы үшін энергия үнемдеуші индукциялық қондырғылар	251
Шайхин А. К., Анарбаев А. Е., Антонцев А. В.	
Аса қысқа электромагниттік импульстің жергілікті жүйе байланысына әсер етуі	255

Новожилов А. Н., Акаев А. М., Новожилов Т. А., Волгина Е. М.	
Синхронды машиналарда орамдық тұйықталулардан қорғаныстарды қарастыру	262
Біздің авторлар	269
Авторлар үшін ереже	273

СОДЕРЖАНИЕ

Азаматова Д. А., Тулебаева Ж. А. Эффективное использование насосного оборудования систем гидрозолеудаления	12
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжуманов М. К., Карипбаев С. Ж. Механизм демпфирования нутационных колебаний ротора электростатического гироскопа	16
Аринов Е., Сартаев К. З., Байжуманов М. К., Карипбаев С. Ж. Движение упругого ротора электростатического гироскопа с переменным моментом инерции в неконтактном подвесе	25
Ахметбаев Д. С., Ахметбаев А. Д. Системные функции сопротивления двухполюсников	33
Бек Е. В. Влияние сланцевой революции в США на европейский газовый рынок	43
Бек Е. В. Пересмотр долгосрочных контрактов (ДСК) ООО «Газпром экспорт» на европейском газовом рынке	46
Бороденко В. А. Об оценке устойчивости систем управления в MATLAB	51
Бороденко В. А. Аналитическое представление переходного процесса в MATLAB	62
Гоненко Т. В., Хацевский В. Ф., Гоненко К. В. Выбор оборудования для установок автоматического пожаротушения	69
Глок К. С. Автоматизация мазутного комплекса	75
Джаманбаев М. А., Токенов Н. П. Исследование статистических материалов по пляске проводов в условиях Казахстана	81
Исенова А. Ж. Модернизация системы вентиляции производственного помещения	86
Комлева Е. В. Антропосоциальные аспекты проблемы ядерных отходов	90
Калиев Б. З., Садвокасова Г. М., Габдулов А. У. О некоторых характеристиках энергетических преобразователей	121
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Оценка средних и действующих значений тока, мощности статических потерь на этапах коммутации инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии	129
Кайдар А. Б., Копырин В. С., Шапкенов Б. К., Марковский В. П. Экспериментальные исследования инвертора с широтно-импульсной модуляцией для систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии	137

Кайдар А. Б., Говорун В. Ф., Шапкенов Б. К. Проблема и перспективы применения линий и вставок постоянного тока	144
Кайдар А. Б., Кислов А. П., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Акаев А. М. Оптимизация параметров систем электроснабжения с применением системного регулирования энергопотребления	153
Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Падруль Н. М. Повышение эффективности преобразования энергии ветра	158
Кислов А. П., Марковский В. П., Деревягин С. И., Игонин С. И., Кривко Л. И. Влияние магнитопровода и загрузки на индуктор в цилиндрической системе нагрева	165
Лопатина Л. Г., Никитин К. И. Алгоритм направленной токовой защиты без цепей напряжения	174
Лукутин Б., Сарсикеев Е., Кислов А., Мустафина Р. Формирование факторов и критериев энергоэффективности на примере автономных систем энергоснабжения	181
Лукутин Б. В., Сурков М. А., Сарсикеев Е. Ж., Мустафина Р. М., Мустафина Д. Б. Математическая модель автономной ветродизельной электростанции с переменной частотой вращения	189
Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И., Любецкая М. А. Разработка математической модели воздухонагревательной установки	195
Мендыбаев С. А., Байкенова Н. Б., Кривко Л. И. Разработка математической модели системы регулирования давления воздуха в калориферной установке	200
Муканова Б. Г. Структура и типизация данных для базы георадиолокаций	205
Никифоров А. С., Приходько Е. В. Современные тенденции в развитии и использовании брикетного топлива	216
Нагорнюк А. А., Писарчук А. А. Автоматизированное определение параметров цифровых радиосигналов с закругленными формами фазовых созвездий	220
Новожилов А. Н., Акаев А. М., Новожилов Т. А., Волгина Е. М. Простая математическая модель для определения токов в обмотках синхронного компенсатора в рабочем режиме	232
Оришевская Е. В., Приходько Е. В. Микроскопический анализ золы Экибастузского угля при работе аэрофильтра	237
Птицын Д. В., Птицына Е. В., Кислов А. П., Бойко Г. Ф. Влияние частоты на работу асинхронного двигателя	243
Хацевский В. Ф., Хацевский К. В. Энергосберегающие индукционные установки для нагрева и обработки жидкостей	251

Шайхин А. К., Анарбаев А. Е., Антонцев А. В.

Воздействие сверхкоротких электромагнитных импульсов
на локальные вычислительные сети255

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

Обзор защит от витковых замыканий в синхронных машинах262

Наши авторы269

Правила для авторов273

CONTENT

Azamatova D. A., Tulebaeva Zh. A.

Effective use of the pumping equipment in the
hydraulic ash removal systems12

Arinov E., Sartayev K. Z., Bayzhumanov M. K., Karipbayev S. Zh.

Mechanism of damping of nutation fluctuations of the
electrostatic gyroscope rotor16

Arinov E., Sartayev K. Z., Bayzhumanov M. K., Karipbayev S. Zh.

Movement of an elastic rotor of an electrostatic gyroscope with the variable
moment of inertia in non-contact subweight25

Akhmetbayev D. S., Akhmetbayev A. D.

System functions of bipolar resistance33

Bek E. V.

The impact of the shale gas revolution in the USA on the
European gas market43

Bek E. V.

Revision of the long-term contracts (LTC) of «Gazprom export» LLC in the
European gas market46

Borodenko V.

About an estimation of stability of control systems in MATLAB51

Borodenko V.

Analytical representation of a transient in MATLAB62

Gonenko T., Khatsevskiy V., Gonenko T.

Choice of the equipments for the automatic fire extinguishing installations69

Glokk K. S.

Automation of the fuel oil set75

Dzhamanbayev M. A., Tokenov N. P.

A study of statistical material on galloping conductors in the
conditions of Kazakhstan81

Issenova A. Zh.

Modernization of the industrial facilities' ventilation system86

Komleva E.

Anthropo-social aspects of the nuclear waste problem90

Kaliev B. Z., Sadvokasova G. M., Gabdulov A. U.

Some characteristics of the energy converters121

Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Markovsky V. P.

The average and rms values of the current, power of static loss on the levels
of inverter switching with pulse-width modulation in the power supply systems
with renewable energy sources129

Kaidar A. B., Kopyrin V. S., Shapkenov B. K., Markovsky V. P.

Pulse-width modulation inverter's experimental studies in power supply system
with renewable energy sources137

Kaidar A. B., Govorun V. F., Shapkenov B. K.	
Problems and prospects of using lines and HVDC	144
Kaidar A. B., Kislov A. P., Markovsky V. P., Shapkenov B. K., Akayev A. M.	
System adjusting of energy consumption for optimization of parametrers of the systems of energy supply	153
Kaidar A. B., Shapkenov B. K., Padrul' N. M.	
Efficiency of the wind energy conversion	158
Kislov A. P., Markovsky V. P., Derevjagin S. T., Igonin S. I., Krivko L. I.	
The influence of the magnetic circuit and load on the inductor in the cylindrical heating system	165
Lopatina L. G., Nikitin K. I.	
Algorithm of the directional overcurrent protection with no voltage circuits	174
Lukutin B., Sarsikeyev E., Kislov A., Mustafina R.	
Formation of energy efficiency factors and criteria on the example of autonomous power supply systems	181
Lukutin B., Surkov M., Sarsikeyev E., Mustafina R., Mustafina D.	
The mathematical model of an autonomous wind-diesel power plant with variable speed	189
Mendymbaev S. A., Balkenova N. B., Krivko L. I., Lubezkaia M. A.	
Development of the mathematical model of the hot-blast setting	195
Mendymbaev S. A., Baikenova N. B., Krivko L. I.	
Development of the mathematical model of the air pressure regulation system in the heater installation	200
Mukanova B.	
Structure and data typing for Ground Penetration Radar database	205
Nikiforov A. S., Prikhodko E. V.	
Current trends in the development and use of fuel briquettes	216
Nagornyyuk A. A., Pisarchyuk A. A.	
Automated parameters determination of the digital radio sygnals with the rounded shapes of the phase constellations	220
Novozhilov A. N., Akayev A. M., Novozhilov T. A., Volgina E. M.	
A simple mathematical model for determining currents in electrical windings of a synchronous capacitor in operation conditions	232
Orishevskaya E. V., Prichodko E. V.	
The microscopic analysis of the Ekibastuz coal at the aerofilter work	237
Ptitsyn D. V., Ptitsyna E. V., Kislov A. P., Boiko G. F.	
Influence of frequency on the work of the induction motor	243
Khatsevskiy V., Khatsevskiy K.	
Energy saving induction units for heating and processing liquids	251
Shaikhin A. K., Anarbayev A. E., Antoncev A. V.	
Super short electromagnetic pulse impact on the local area networks	255
Novozhilov A. N., Akayev A. M., Novozhilov T. A., Volgina E. M.	
Review of a synchronous machine protection against inter turn short circuits	262

Our authors.....	269
Rules for authors	273

Д. А. Азаматова, Ж. А. Тулебаева

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ГИДРОЗОЛОУДАЛЕНИЯ

Проведен анализ системы гидрозолоудаления ГРЭС, с целью разработки мероприятий по повышению эффективности работы багерной насосной станции.

Вопросы эффективной работы насосно-силового оборудования в последние годы становятся все более актуальными в связи с ростом тарифов на электрическую энергию, расходы на которую в общей структуре затрат могут быть очень значительными. В отраслях промышленности с интенсивным использованием насосного оборудования, доля электроэнергии потребляемой насосами составляет более 50% от общего энергопотребления. Поэтому вопрос снижения затрат на электроэнергию заключается, прежде всего, в эффективном использовании насосного оборудования. В среднем к.п.д. насосных станций составляет 10-40 %.

Главные причины неэффективного использования насосного оборудования следующие:

1. Переразмеривание насосов, т.е. установка насосов с параметрами подачи и напора большими, чем требуется для обеспечения работы насосной системы.

2. Регулирование режима работы насоса при помощи задвижек.

Согласно приведенным в статье исследованиям, при постановке проблемы, кроме энергосбережения, существует еще ряд проблем связанных с эффективностью эксплуатации систем ГЗУ тепловых станций: энергетические блоки станций, использующих в качестве топлива уголь, эксплуатируют системы золошлакоудаления. Одним из основных компонентов таких систем является транспортирование шлаков при помощи воды. При транспортировании осветленной воды от прудов-накопителей к котлам энергоблоков иногда возникают проблемы отложения твердого осадка в трубопроводах, которые со временем уменьшают проходное сечение трубы. При этом увеличивается сопротивление системы транспортирования воды и как следствие, снижается давление у потребителей. Иногда ситуация складывается таким образом, что существующими насосными агрегатами насосных станций подача необходимого количества воды становится затруднительной, а иногда и невозможной из-за снижения давления у

потребителя ниже допустимого. По этой причине затрудняется работа энергетических блоков на их номинальных параметрах, что приводит к необходимости ограничения мощности энергоблоков и, как следствие, недовыработке электрической энергии, росту ее себестоимости. В связи с этим вопросы очистки таких трубопроводов, мероприятия по предотвращению отложений, а также их экономическое обоснование становятся весьма актуальными, поскольку существенно влияют на объемы и эффективность выработки электроэнергии в целом по стране с замещением газа каменным углем. Следует отметить, что проблемы отложения осадка в трубопроводах системы транспортирования осветленной технической воды золошлакоудаления в некоторых случаях обусловлены проектными решениями при строительстве энергоблоков, а именно проектной скоростью движения таких жидкостей в трубопроводах. Согласно справочным данным такая скорость должна быть в пределах 1-5 м/с, при этом предпочтительная скорость – 2 м/с. Увеличение скорости диктуется экономической целесообразностью, которая определяется соотношением затрат на строительство системы транспортирования и ее эксплуатацию, так как при увеличении объемов перекачиваемой жидкости возрастает сопротивление и потери энергии потока в трубопроводе. Указанная проблема выявляется, как правило, после многолетней эксплуатации систем транспортирования из-за понижения необходимого давления в системах орошения электрофильтров и смыва шлака. Это обусловлено отсутствием эффективной системы мониторинга состояния транспортных систем (физического состояния трубопроводов и оборудования, изменения удельного расхода электроэнергии на перекачивание 1 м³ жидкости в процессе эксплуатации). Обычно такие системы оснащаются манометрами для контроля давления в линии за насосами и амперметрами контроля тока нагрузки электродвигателей. При этом отсутствует контроль количества перекачиваемой воды и состояния трубопроводов, что со временем, без проведения необходимых профилактических мероприятий, приводит к отказу работы системы и необходимости осуществления значительных капитальных вложений в ее реконструкцию.

При обследовании системы гидрозолоудаления ГРЭС, с целью разработки мероприятий по повышению эффективности работы багерной насосной станции можно сделать следующие выводы:

Представленные предложения по возможной реконструкции системы транспортирования осветленной технической воды золошлакоудаления станции, работающей на угле, путем очистки водоводов основываются на результатах исследования состояния металла трубопроводов и объектно-ориентированного моделирования режимов работы насосных станций, характеризуются приемлемыми объемами капитальных вложений и сроками

окупаемости. Современные технологии очистки позволяют выполнить такие работы в течение 3-4 месяцев в период неполной загрузки станции, что позволяет избежать потерь от недовыработки электроэнергии. Кроме того, в случае реализации проекта путем изменения технологии и режима подачи воды можно увеличить скорость движения жидкости по трубопроводам, исключив в дальнейшем их «зарастание». Предложенные мероприятия по модернизации насосного оборудования багерных насосных станций и организации режима золошлакоудаления учитывают возможности модернизации существующего насосного оборудования без применения дорогостоящих устройств изменения частоты вращения роторных частей агрегатов. Соотношение затрат по предлагаемым мероприятиям, а также сроки их окупаемости показывают привлекательность рассматриваемых мероприятий в техническом и экономическом плане. Предложенные технико-экономические решения в рамках разработанного комплексного энергосберегающего проекта реконструкции могут быть с успехом применены как базовые и на других электростанциях, работающих на угле и эксплуатирующих систему ГЗУ.

Таким образом, рассмотренные варианты по реконструкции багерных насосных станций, позволили бы предприятию обеспечить получение экономического эффекта за весь период реализации мероприятия при приемлемых сроках окупаемости и капитальных вложений, существенно повысив уровень энергоэффективности системы транспортирования золошлаковой смеси к месту ее складирования, а также повысить эффективность контроля в целях охраны от загрязнения природных водоисточников и оптимизации эксплуатационных параметров систем ГЗУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рихтер, Л. Д., Елизаров, Д. П., Лавыгин, В. М, Вспомогательное оборудование тепловых электростанций. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.
- 2 Малюшенко, В. В., Михайлов, А. К. Энергетические насосы: Справочное пособие. – М. : Энергоизднт, 1981. – 200 с.
- 3 Малюшенко, В. В., Михайлов, А. К. Насосное оборудование тепловых электростанций. – М. : Энергия, 1975. – 280 с.
- 4 Пруднер, С. Л. Экономика ремонта оборудования электростанций. – М. : Энергия, 1973. – 231 с.
- 5 Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; Под ред. С.С.Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
- 6 Федяев, Н. И., Алексеева, Т. Е. Формирование химического состава воды при лабораторном моделировании оборотных систем

гидрозолоудаления // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Сб. научн. трудов 1984, т. 174. – С. 42-47.

7 Гольдина, Т. М., Архипенко, И. В. Химический состав вод, осветленных от золы экибастузского, ангреновского и райчихинского углей. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Сб. научн. трудов. – 1984, т. 174, с. 51.

8 Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей среды. – М., Центр экологических проблем, 2012. – 35 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 25.08.14.

Д. А. Азаматова, Ж. А. Тулебаева

ҚСЖ жүйесінің сорғылық жабдықтарын тиімді қолдану

С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 25.08.14 баспаға түсті.

D. A. Azamatova, Zh. A. Tulebaeva

Effective use of the pumping equipment in the hydraulic ash removal systems

S. Toraihyrov Pavlodar state university, Pavlodar.
Material received on 25.08.14.

Багерлік сорғылау станциясының тиімді жұмыс істеуін арттыру бойынша шараларды құру мақсатында ГРЭС гидрокүлтазалау жүйесіне сараптама жүргізілді.

The analysis of the ash removal system in a power plant, was given in order to develop measures to improve the efficiency of the pumping station.

Е. Аринов,* К. З. Сартаев, М. К. Байжуманов,***
С. Ж. Карипбаев*****

МЕХАНИЗМ ДЕМПФИРОВАНИЯ НУТАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ РОТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

Исследовано движение динамически симметричного упругого сплошного ротора электростатического гироскопа в неконтактном подвесе, изготовленного из материалов с более высокой плотностью.

Проведена количественная оценка переходного процесса ротора неконтактного шарового гироскопа, приводящего к стационарному вращению вокруг оси наибольшего момента инерции.

Исследовано движение вязкоупругого ротора в случае двойного вращения. Построена силовая функция и оценены возмущающие моменты для асферизованного ротора ЭСГ.

Получено решение уравнений прецессионного движения шарового гироскопа и проведена количественная сравнительная оценка ухода.

Ключевые слова: Шаровой ротор, электростатический гироскоп, летательный аппарат, неконтактный подвес, уход, углы Эйлера, инерционная сила, деформация, Функция Бесселя, коэффициент внутреннего трения

Если ротор электростатического гироскопа в неконтактном подвесе считать абсолютно твердым, то при отсутствии внешних сил он будет совершать регулярную прецессию Эйлера – Пуансо. Выпишем динамические уравнения Эйлера, описывающие движение ротора электростатического гироскопа относительно центра масс, в трехграннике x :

$$\frac{dL}{dt} + \omega \cdot L = 0 \quad (1)$$

Здесь

L – Вектор кинетического момента ротора относительно центра масс;
 ω – вектор угловой скорости трехгранника x .

В случае, когда эллипсоид инерции является эллипсоидом вращения вокруг оси Ox_3 , вследствие чего $I_1 = I_2$ будет больше I_1 и I_2 , если эллипсоид является сжатым, и будет меньше этих величин, если он вытянутый.

Проекция уравнения (1) на ось Ox_3 равна $I_3 \frac{d\omega_3}{dt} = 0$, следовательно, $\omega_3 = b$ – проекция вектора угловой скорости на ось x_3 в начальный момент времени.

Для определения положения ротора относительно неподвижных осей ξ_1, ξ_2, ξ_3 достаточно будет знать три угла Эйлера ϑ, φ, ψ в функции времени, проекции $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ вектора мгновенной угловой скорости вращения ротора на подвижные оси Ox_1, Ox_2, Ox_3 определяются кинематическими уравнениями Эйлера:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \dot{\varphi} \sin \vartheta \sin \varphi + \dot{\vartheta} \cos \varphi; \\ \omega_2 &= \dot{\varphi} \sin \vartheta \cos \varphi - \dot{\vartheta} \sin \varphi; \\ \omega_3 &= \dot{\varphi} \cos \vartheta + \dot{\psi}; \end{aligned}$$

Для вычисления трех углов Эйлера как функций времени, предположим, что в качестве оси выбрано неизменное направление η_3 кинетического момента L , известное из начальных условий.

Проекции вектора L на подвижные оси равны:

$$\begin{aligned} I_1 \omega_1 &= L \sin \vartheta \sin \varphi \\ I_2 \omega_2 &= L \sin \vartheta \cos \varphi \\ I_3 \omega_3 &= L \cos \vartheta \end{aligned} \quad (2)$$

Из последнего уравнения (2) видно, что угол ϑ должен оставаться постоянным $\vartheta = \vartheta_0$, при этом $\cos \vartheta = \frac{bI_3}{L}$. Учитывая выражения для проекции вектора мгновенной угловой скорости вращения ротора на подвижные оси Ox_1, Ox_2, Ox_3 и для осе симметричного ротора ($I_1 = I_2$) имеем

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{L}{I_1}; \quad \frac{d\varphi}{dt} = \frac{(I_3 - I_1)L}{I_1 I_3} \cos \vartheta$$

Следовательно, ψ и φ изменяются пропорционально времени:

$$\psi = \frac{L}{I_1} t; \quad \varphi = \frac{\pi}{2} - \vartheta t \quad (3)$$

где

$$\vartheta = b \frac{(I_3 - I_1)}{I_1};$$

Мгновенная угловая скорость вращения $\bar{\omega}$ есть геометрическая сумма трех угловых скоростей, направленных соответственно вдоль $OI, O\eta_1, O\eta_2$.

В рассматриваемом случае $\dot{\vartheta}$ равно нулю, $\dot{\varphi}$ и $\dot{\psi}$ постоянны. Геометрическое место мгновенных осей вращения ω в роторе гироскопа есть круговой конус с осью Ox_3 .

Геометрическое место мгновенных осей в пространстве есть круговой конус с осью $O\eta_2$. Движение ротора гироскопа получается как результат равномерного качения одного конуса по другому.

При отсутствии внешних сил кинетический момент L имеет фиксированное направление и постоянную величину

$$L = [(I_1 a)^2 + (I_3 b)^2]^{1/2} \quad (4)$$

здесь – проекция вектора угловой скорости $\overline{\omega}$ на ось Ox_1 в начальный момент времени.

Учитывая (2) и (3), получим для проекций угловой скорости на подвижные оси Ox_1, Ox_2, Ox_3 следующие уравнения

$$\omega_1 = a \cos \vartheta t; \omega_2 = a \sin \vartheta t; \omega_3 = b; \quad (5)$$

Движение (3) - (5) примем в качестве порождающего решения задачи, а влияние упругости ротора в соответствии с идеями метода возмущения будем рассматривать как малое возмущение эйлерова движения.

Плотность силы инерции F определяется по формуле

$$\mathbf{F} = -\rho[\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{R}(\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{r}) + \mathbf{R}\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{r} + \mathbf{w}_0 + \mathbf{u} + 2\boldsymbol{\omega} \cdot \dot{\mathbf{u}}]$$

Здесь первые три слагаемых – переносное ускорение, четвертое слагаемое – относительное ускорение, последнее – кориолисово ускорение.

Будем пренебрегать в выражении для силы F малыми членами $\dot{\mathbf{u}}$ и $2\boldsymbol{\omega} \cdot \dot{\mathbf{u}}$, это означает, что пренебрегаем собственными колебаниями упругого тела, так как предполагаем что частота собственных колебаний намного больше угловой скорости вращения. Так как рассматривается свободное движение тела, то абсолютное ускорение центра инерции деформируемого тела равно нулю, следовательно но, переносное ускорение центра масс тоже будет равно нулю.

Тогда

$$\mathbf{F} = -\rho\mathbf{R}\{\dot{\boldsymbol{\omega}} \cdot \mathbf{r}\} + \dot{\boldsymbol{\omega}}(\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{r}) - \omega^2 \mathbf{r} \quad (6)$$

Проектируя вектор (1.6) на подвижные оси Ox_1, Ox_2, Ox_3 с учетом (1.5), имеем

$$F_1 = -\rho\mathbf{R}\{-(b^2 + a^2(\sin \vartheta t)^2)\mathbf{x}_1 + 0.5a^2\mathbf{x}_2 \sin 2\vartheta t + a(b + v)\mathbf{x}_3 \cos \vartheta t\}$$

$$F_2 = -\rho\mathbf{R}\{0.5a^2\mathbf{x}_1 \sin 2\vartheta t - (b^2 + a^2 \cos \vartheta t)\mathbf{x}_2 + a(v + b)\mathbf{x}_3 \sin \vartheta t\}$$

$$F_3 = -\rho\mathbf{R}\{a(v - b)\mathbf{x}_1 \cos \vartheta t + a(v - b)\mathbf{x}_2 \sin \vartheta t - a^2\mathbf{x}_3\}$$

Здесь координаты x_i являются безразмерными, отнесенными к радиусу ротора R .

В трехграннике x_1, x_2, x_3 введем сферическую систему координат r, α, β ($0 \leq r \leq R, 0 \leq \alpha \leq \pi, 0 \leq \beta \leq 2\pi$;) с полярной осью x_3 . Матрица C направляющих косинусов между системой координат x_1, x_2, x_3 и единичными векторами e_r, e_α, e_β сферической системе координат имеет вид

$$C = \begin{vmatrix} \sin \alpha \cos \beta & \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \\ \cos \alpha \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta & -\sin \alpha \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \end{vmatrix} \quad (7)$$

Принимая во внимания (7), перепроектируем (6) на оси сферической системы координат r, α, β и в результате получим

$$F_r = -\rho r \mathbf{R}\left[-\left(b^2 + a^2/2\right) + \left(b^2 - a^2/2\right)(8)(\cos \alpha)^2 + a b \sin 2\alpha \cos (\vartheta t - \beta) + 0.5 a^2 (\sin \alpha)^2 \cos (2\vartheta t - 2\beta)\right];$$

$$F_\alpha = -\rho r \mathbf{R}\left[-(b^2 - a^2/2) \sin \alpha \cos \alpha + a(\vartheta = b) \cos 2\alpha \cos (\vartheta t - \beta) + 0.5 a^2 \sin \alpha \cos \alpha \cos (2\vartheta t - 2\beta)\right] \quad (8)$$

$$F_\beta = -\rho r \mathbf{R}\left[-a(b + \vartheta) \cos \alpha \sin (\vartheta t - b) + 0.5 a^2 \sin \alpha \sin (2\vartheta t - 2\beta)\right]$$

Для реальных конструкций неконтактных гироскопов отношение $(I_3 - I_1)/I_1$ не превосходит 0.1, поэтому слагаемые с множителем v в (8) оказываются малыми [2]. Если пренебречь в (8) членами с множителем v , то непосредственным вычислением можно убедиться, что силы (8) потенциальны

$$F = -\text{grad} \pi, \quad \pi = -\frac{R^2}{3} \rho \omega^2 r^2 [I - P_2(\alpha)] \quad (9)$$

$$\alpha = [a^* \sin \alpha \cos (\beta - \vartheta t) + b^* \cos \alpha]$$

здесь $P_2(\alpha) = (3\alpha^2 - 1)/2$ полином Лежандра, $a^* = a/\omega, b^* = b/\omega$.

Так как период свободных упругих колебаний ротора оказывается много меньше периода обращения ротора вокруг центра масс, то вектор перемещений его точек $u(r, \alpha, \beta)$, вызванных наличием инерционных сил (8), можно найти как решение квазистационарной задачи пространственной теории упругости [1]

$$\frac{2(1-\mu)}{(1-2\mu)} \text{grad div } u - \text{rot rot } u - \frac{R^2}{G} \text{grad} \pi = 0 \quad (10)$$

$$\sigma_{ij} n_j |_{r=1} = 0 \quad (11)$$

где μ – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, n (n_1, n_2, n_3) – нормаль к поверхности ротора, σ_{ij} – компоненты тензора напряжений. При решении (10), (11) будем пренебрегать изменением плотности в экваториальной плоскости ротора и ограничимся нахождением перемещений для однородного шара.

Введем систему координат z_1, z_2, z_3 , начало которой совпадает с центром масс ротора, а вектор $\overline{\omega}$ угловой скорости ротора направлен по оси z_3 . В трехграннике z_i введем сферические координаты α_1, β_1 с полярной осью z_3 . Тогда задача (10), (11) сводится к определению вектора перемещений который имеет место при вращении тела вокруг «неподвижной» оси z_3 . Воспользовавшись известными результатами из [1], получим

$$u_r = \frac{\rho \omega^2 R^2}{3G(7+5\mu)} [(1 + \mu)r^3 - (3 + 2\mu)R^2 r] P_2(\alpha) \quad (12)$$

$$u_\alpha = \frac{\rho \omega^2 R^2}{6G(7+5\mu)} [(2 + \mu)r^3 - (3 + 2\mu)R^2 r] \frac{\partial P_2(\alpha)}{\partial \alpha} \quad (13)$$

$$u_\beta = \frac{\rho \omega^2 R^2}{6G(7 + 5\mu)} [(2 + \mu)r^3 - (3 + 2\mu)R^2 r] \frac{1}{\sin \alpha} \frac{\partial P_2(\alpha)}{\partial \beta}$$

Воспользовавшись (9) для полинома Лежандра $P_2(x)$, входящего в (13), будем иметь

$$P_2(x) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{3}{\omega^2} \left[\frac{\alpha^2}{2} + \left(b^2 - \frac{\alpha^2}{2} \right) (\cos \alpha)^2 + ab \sin 2\alpha \cos(\beta - \theta t) + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{a^2}{2} (\sin \alpha)^2 \cos(2\theta t - 2\beta) \right] - 1 \right\} \quad (14)$$

Заметим, что в формулах (14) опущены постоянные во времени слагаемые, описывающие центральносимметричную деформацию ротора. Эти слагаемые не влияют на его периодические деформации и, следовательно, являются для нас в дальнейшем несущественными.

Дифференцируя формулу (13) по времени, находим компоненты относительной скорости точек ротора гироскопа

$$\dot{u}_r = \frac{P}{G} \nu D(r) [ab \sin 2a \sin(\nu t - \beta) + a^2 (\sin \alpha)^2 \sin(2\nu t - 2\beta)] \\ \dot{u}_\alpha = \frac{P}{G} \nu C(r) [ab \cos 2a \sin(\nu t - \beta) + \frac{a^2}{2} \sin 2\alpha \sin(2\nu t - 2\beta)] \\ \dot{u}_\beta = \frac{P}{G} \nu C(r) [ab \cos \alpha \cos(\nu t - \beta) + a^2 \sin \alpha \cos(2\nu t - 2\beta)] \quad (15)$$

где

$$D(r) = \frac{R^3}{2(7 + 5\mu)} [(1 + \mu)r^3 - (3 + 2\mu)r]; \\ C(r) = \frac{R^3}{2(7 + 5\mu)} [(2 + \mu)r^3 - (3 + 2\mu)r];$$

Таким образом, ротор гироскопа при угле нутации $\theta \neq 0$, $\theta \neq \pi/2$ испытывает циклическую нагрузку, которая приводит к рассеянию энергии. Для оценки потерь энергии предположим, что внутреннее трение в материале подчиняется гипотезе Кельвина – Фойгта, и введем диссипативную функцию Рэлея.

Диссипативная функция, описывающая внутреннее трение, должна обращаться в нуль, если в теле отсутствует внутреннее движение, в частности, если тело совершает только поступательное или вращательное движение как целое, т. е. она должна зависеть не от самой скорости, а от ее градиента [1]

$$\Phi = \frac{1}{2} \int [\lambda^* \dot{\varepsilon}^2 + G^* (\dot{\varepsilon}_{rr}^2 + \dot{\varepsilon}_{\alpha\alpha}^2 + \dot{\varepsilon}_{\beta\beta}^2) + 2G^* (\dot{\varepsilon}_{r\alpha}^2 + \dot{\varepsilon}_{r\beta}^2 + \dot{\varepsilon}_{\alpha\beta}^2)] dv \quad (16)$$

Здесь λ^* , G^* – коэффициенты вязкого трения в материале ротора $\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_{rr} + \dot{\varepsilon}_{\alpha\alpha} + \dot{\varepsilon}_{\beta\beta}$, $\dot{\varepsilon}_{rr} \dots \dot{\varepsilon}_{\alpha\beta}$ – скорости деформации, интегрирование в (16) ведется по всему объему ротора. (Коэффициенты λ^* , G^* в дальнейшем считаются малыми в том смысле, что время затухания 2^* собственных упругих колебаний ротора много больше периода упругих колебаний ротора T_0 . В тоже время для корректности проводимых в дальнейшем построений

будет считать, что T много меньше характерного времени движения ротора относительно центра масс.)

Для оценки коэффициентов вязкого трения G^* и λ^* , входящих в (16), предположим, что тензоры коэффициентов упругости и коэффициентов вязкости подобны. При таком предположении

$$\lambda^* = \frac{2\mu}{1-2\mu} G^* \quad (17)$$

Рассмотрим центрально симметричные собственные колебания шара при наличии внутреннего трения. В этом случае функция радиального перемещения $u = u(r,t)$ удовлетворяет уравнению Ламе [1]

$$\frac{2}{R^2} \frac{1-\mu}{1-2\mu} \mathcal{L}[Gu + G^* \dot{u}] - \rho \ddot{u} = 0 \quad (18)$$

$$\mathcal{L} = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{2}{r^2} \quad (19)$$

граничному условию

$$\sigma_{rr}|_{r=1} = 0 \quad (20)$$

Решение уравнения (18) после разделения переменных имеет вид

$$u(r,t) = \left(\frac{R}{kr} \right)^{\frac{1}{2}} J_{\frac{3}{2}} \left(\frac{kr}{R} \right) \exp(i\chi t) \quad (21)$$

$$k^2 = \frac{R^2(1-2\mu)}{2(1-\mu)} \frac{\rho}{(G+G^*\chi i)} \quad (22)$$

Здесь $J_{\frac{3}{2}}(z) = \left(\frac{2}{\pi z} \right)^{1/2} \left(\frac{\sin z}{z} - \cos z \right)$ – Функция Бесселя с половинным индексом.

Выражая напряжение σ_{rr} через перемещение $u(r,t)$ из граничного условия (20) получаем трансцендентное уравнение для определения параметра k ;

$$\text{tgk} = \frac{k}{1-\delta k^2}; \quad \delta = \frac{(1-\mu)}{2(1-2\mu)} \quad (23)$$

Первый положительный корень уравнения (23) лежит в интервале $\frac{\pi}{2} < k_1 < \pi$. В частности, при $\mu = 0.3, \delta = 0.875, k_1 \approx 2.67$. Будем считать значение k_1 известным и из уравнения (23) найдем

$$\chi = \chi_1 + \frac{\chi_1^2 G^*}{2G} 1; \quad \chi_1^2 = \kappa_1^2 \left(\frac{2G(1-\mu)}{\rho R^2(1-2\mu)} \right), \quad (24)$$

где χ – первая собственная частота упругих колебаний ротора. При выводе формулы (24) было учтено, что $G^* \ll G/\chi$

Если обозначить через η логарифмический декремент затухания колебаний ротора, то согласно (24), имеем

$$\eta = \frac{\pi G^*}{G} \chi_1$$

Поэтому в качестве оценки коэффициента вязкого трения можно использовать соотношение

$$G^* = \frac{\eta R}{\pi \kappa_1} \left(\frac{\rho G(1-2\mu)}{2(1-\mu)} \right)^{1/2} \quad (25)$$

Кинетическая энергия динамически симметричного твердого тела, движущегося относительно неподвижной точки, определяется выражением

$$T = \frac{L^2}{2} \left(\frac{\sin^2 \vartheta}{I_1} + \frac{\cos^2 \vartheta}{I_3} \right) \quad (26)$$

Поэтому, имея в виду, что момент внешних сил относительно центра масс ротора гироскопа равен нулю ($L = \text{const}$) и дифференцируя формулу (26), получим уравнение для угла нутации ϑ

$$\dot{\vartheta} = \frac{2I_1 I_3 \dot{T}}{(I_3 - I_1)L^2 \sin 2\vartheta}$$

Известно, что скорость убывания механической энергии системы равняется удвоенной диссипативной функции Φ , поэтому приходим к следующему дифференциальному уравнению для угла нутации гироскопа

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{4\pi(I_3 - I_1)G^* \rho^2 R^7 L^4 f(\mu)}{15I_1^2 I_3^2 G^2} \sin \vartheta \cos \vartheta \left(\frac{I_3^2 \sin^2 \vartheta}{I_1^2} + \cos^2 \vartheta \right) \quad (27)$$

$$f(\mu) = \frac{4}{G^*} F(\mu) = \frac{707\mu^2 + 2016\mu + 1437}{105(7+5\mu)^2} \quad (28)$$

Если ввести безразмерное время по формуле

$$t = \tau t; \quad \tau = \frac{15I_1^2 I_3^2 G^2}{4\pi(I_3 - I_1)G^* \rho^2 R^7 L^4 f(\mu)} \quad (29)$$

и обозначить через $s = I_3^2/I_1^2$, $z = \text{tg}^2 \vartheta$, то полученное уравнение можно преобразовать к виду

$$\frac{(1+z)dz}{2z(1+sz)} = -dt$$

Следовательно, вековая эволюция угла нутации будет определяться уравнением

$$\text{tg}^{2s} \vartheta (1 + 3\text{tg}^2 \vartheta)^{s-1} = \text{tg}^{2s} \vartheta^0 (1 + s \text{tg}^2 \vartheta)^{s-1} \exp(-2st) \quad (30)$$

Здесь ϑ^0 начальное значение угла между осью симметрии ротора x_3 и осью η_3 . На рис. 2.3 представлена графическая зависимость угла нутаций от времени.

Определение угла нутации позволяет определить скорость совмещения оси динамической симметрии с вектором кинетического момента, то есть скорость демпфирования, и сделать заключение о времени, необходимом для подготовки прибора к работе.

Для ротора со сплюснутым эллипсоидом инерции $I_3 > I_1$ угол нутации ϑ убывает с течением времени. Таким образом, при движении ротора вокруг центра масс динамическая ось симметрии ротора x_3 стремится совпасть с осью η_3 , по которой направлен вектор кинетического момента. Формула (25) позволяет оценивать движение оси симметрии ротора во время его раскрутки. Подстановка параметра G^* , определяющего внутреннее трение, в постоянную времени приводит к следующему окончательному результату

$$\tau = \frac{15I_1^2 I_3^2 G^{2/2} R_1}{4\eta(I_3 - I_1)\rho^2 R^6 L^4 f(\mu)} \left(\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu} \right)^{1/2} \quad (31)$$

Конечно, аналогичный механизм демпфирования нутационных колебаний существует и для гироскопа с неконтактным подвесом, ротор которого представляет собой тонкую сферическую оболочку.

Числовой пример 1. Рассмотрим электростатический гироскоп со сплошным бериллиевым ротором. Радиус ротора $R = 0.5$ см, механические характеристики: плотность $\rho = 1850$ кг/м³, модуль сдвига $G = 1,15 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0.3$, угловая скорость $\omega = 1.88 \cdot 10^4$ сек⁻¹, $I_1 = 0.9 \cdot I_3$, $I_3 = 0.968 \cdot 10^{-8}$ кг м², Кинетический момент $L = 1.824 \cdot 10^{-4}$ кг м²/с, логарифмический декремент затухания $\eta = 0.02$. В этом случае из (1.83) для постоянной времени получаем $\tau = 250$ часов.

Числовой пример 2. Теперь рассмотрим электростатический гироскоп со сплошным алюминиевым ротором. Плотность $\rho = 2720$ кг/м³, модуль сдвига $G = 2.65 \cdot 10^{10}$ Па, коэффициент Пуассона $\mu = 0.32$, остальные механические характеристики оставим такими же как и выше. Тогда из (1.39) находим $\tau = 20$ часов.

Как видно из этих числовых, для поддержания «двойного вращения» ротора, в течение достаточно продолжительного времени, необходимо прикладывать к нему силовые моменты, что само по себе вызывает дополнительные погрешности прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Лурье, А. И.** Пространственные задачи теории упругости. – М. : Гостехиздат, 1955. – 491 с.

2 **Мартыненко, Ю. Г.** Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. – М. : Наука, 1988. – 368 с.

3 **Карипбаев, С. Ж.** Уходы неконтактного гироскопа, вызываемые тепловыми деформациями ротора. // В кн.: Современные проблемы механики и технологии машиностроения. Всероссийская конференция: Тезисы докладов и сообщений. – М.: ВИНТИ РАН, 1992. – с. 5.

4 **Карипбаев, С. Ж., Ландау, Б. Б., Мартыненко, Ю. Г., Подалков, В. В.** Зависимость угловой скорости электростатического гироскопа от температуры окружающей среды // Изв. АН РАН. МТТ. – 1993. – № 3. – С. 42-49.

*Жезказганский университет имени О. А. Байконурова, г. Жезказган;

**Екибастузский инженерно-технический институт имени К. Сатпаева, г. Екибастуз;

**АО «Академия гражданской авиации», г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 15.09.14.

*Е. Аринов**, *К. З. Сартаев***, *М. К. Байжұманов****, *С. Ж. Карипбаев****

Электростатикалық гироскоп роторының нутациялық тербелісінің демпфирлеу механизмі

*Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған қ.

**Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз

инженерлік-техникалық институты, Екібастұз қ.

***«Азаматтық Авиация Академиясы» АҚ, Алматы қ.

Материал 15.09.14 баспаға түсті.

*Е. Arinov**, *K. Z. Sartayev***, *M. K. Bayzhumanov****, *S. Zh. Karipbayev****

Mechanism of damping of nutation fluctuations of the electrostatic gyroscope rotor

*O. A. Baykonurov Zhezkazgan university, Zhezkazgan;

**Ekibastuz Technical Institute named after K. Satpayev, Ekibastuz;

***JS «Civil Aviation Academy», Almaty.

Material received on 15.09.14.

Жоғарғы тығыздықтағы материалдан жасалынған жанаспаған ілгіштегі электростатикалық гироскоптың динамикалық симметриялы серпінді роторының қозғалысы зерттелді.

Ең үлкен инерция моменті осі маңайында тұрақты айналдыруға келтіретін жанаспаған шарлы гироскоп роторының ауыспалы процесінің сандық есептеулері жүргізілген.

Қос айналудағы тұтқырсерпінді ротордың қозғалысы зерттелді. Күшітік функциялары құрылып, электростатикалық гироскоптың сферасы бұзылған роторының ұйытқу моменттері есептелінеді.

Шарлы гироскоптың прецессиялық қозғалысы теңдеуінің шешімі алынады, ауытқудың салыстырмалы сандық мәндері жүргізіледі.

Movement of dynamically symmetric elastic continuous rotor of an electrostatic gyroscope in not contact sub weight, made of materials with higher density is investigated.

The quantitative assessment of a rotor transfer of non-contact spherical gyroscope leading to stationary rotation around an axis of the quickest moment of inertia is carried out.

Movement of a viscous elastic rotor in case of double rotation is investigated. Power function is constructed and the revolting moments for an asferized rotor of ESR are estimated.

The solution of the equations of precession movement of a spherical gyroscope is received and the quantitative comparative assessment of extension is carried out.

УДК 622.02+532.5

Е. Аринов**, *К. З. Сартаев, *М. К. Байжұманов****,
*С. Ж. Карипбаев******

ДВИЖЕНИЕ УПРУГОГО РОТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА С ПЕРЕМЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ В НЕКОНТАКТНОМ ПОДВЕСЕ

На стабильность угловой скорости влияет изменение размеров ротора, происходящее при изменении температуры окружающей среды. Возникновение градиентов температуры внутри ротора приведет в неодинаковому расширению материала ротора электростатического гироскопа (ЭСГ) и будет сопровождаться изменением его напряженно-деформированного состояния, что в свою очередь приведет к изменению внешней поверхности ротора. Нестабильность частоты вращения ротора приводит к нестабильности кинетического момента и появлению ошибки гироскопа. Получено выражение для угловой скорости ротора ЭСГ с переменным моментом инерции. Теоретические расчеты угловой скорости как функции температуры окружающей среды сравнивались с данными эксперимента, которые получены при работе реального ЭСГ.

Ключевые слова: Электростатический гироскоп, гироскоп в вакууме, ротор гироскопа, термоупругие деформации, функции веса, угловой скорости ротора.

Широкое развитие и применение гироскопических систем и приборов ориентации и навигации летательных аппаратов судов, подводных лодок и других подвижных объектов обязано свойству их автономности, которое заключается в том, что приборы и системы, основанные на применении гироскопов, в отличие от радиолокационных и оптических систем ориентации и навигации, определяют положение подвижных объектов без каких-либо физических связей с Землей, не защищенных от внешних искусственных воздействий, создающих помехи в работе этих систем или приводящих к полному нарушению их работоспособности [1].

В бесплатформенных (бескарданных) системах ориентации чувствительными элементами являются гироскопические датчики первичной информации, измеряющие углы или угловые скорости поворота ЛА и линейные ускорения (акселерометры). Эти датчики устанавливаются непосредственно на борту летательного аппарата (ЛА) и работают совместно с цифровой вычислительной машиной, непрерывно производя расчет углов курса, крена и тангажа или иных параметров, определяющих ориентацию ЛА относительно базовой системы координат [1,2].

Основным достоинством неконтактного подвеса ротора является практически полное отсутствие сил трения при его вращении. Это открывает принципиальную возможность повышения точности гироскопических приборов. Существенным преимуществом ЭСГ является возможность его использования при неограниченных углах поворота летательного аппарата вокруг центра тяжести без каких-либо дополнительных устройств типа карданова подвеса. В этом случае корпус гироскопа устанавливается на движущемся объекте, совершающем произвольное движение.

ЭСГ имеет ряд преимуществ по сравнению с другими датчиками ИНС: высокая точность (до 10-10I/c), длительная безотказная работа на вылете ротора (до нескольких лет), малое энергопотребление (до нескольких ватт), небольшие габариты и масса. ЭСГ мало подвержен износу, вследствие чего надежность прибора в основном определяется надежностью и сроком службы электронных элементов.

Использование ЭСГ на космических аппаратах привлекательно по той причине, что в условиях космоса легче поддерживать необходимую степень вакуума в гироскопе, решать задачу поддержания ротора во взвешенном состоянии, снизить энергопотребление системы. Вместе с тем, использование, как в области теории, так и в области высоких технологий.

При вращении ротора электростатического гироскопа в вакууме основным фактором, определяющим стабильность его угловой скорости, является радиальный небаланс ротора. Если поверхность ротора – идеальная сфера с началом в центре масс ротора, то поддерживающие силы, действующие по нормали к металлической поверхности ротора, образуют сходящуюся систему сил и приводятся к равнодействующей, приложенной в центре масс. Следовательно, вектор кинетического момента гироскопа будет неограниченно долго сохранять свое направление в инерциальном пространстве.

Однако в реальных приборах наружная форма ротора всегда отличается от сферической. Причинами возникновения несферичности ротора являются:

- погрешности изготовления ротора;
- центробежные силы, возникающие при его вращении;
- термоупругие деформации, появляющиеся при изменении температуры.

Технологические проблемы обработки поверхности ротора с точностью до 0.1 мкм оказываются весьма сложными. В силу того, что первая гармоника формы ротора описывает его дебаланс, то далее термин несферичность ротора будет рассматриваться в обобщенном смысле и включать в себя ЭСГ в условиях космического пространства требует решения комплекса новых задач и понятие несбалансированности ротора специального оборудования [2].

При наличии несферичности поверхности ротора возможно появление уходов из-за несферичности электродов, смещений центра масс ротора в подвесе, возникающих при перегрузках и вибрациях основания и при отсутствии нулевого электрода, заполняющим междуэлектродное пространство подвеса и т.д. [2].

Взаимодействие поступательных и вращательных движений несбалансированного ротора в электростатическом подвесе может приводить как к торможению, так и к разгону ротора, т.е. электростатический подвес выполняет роль своеобразного двигателя, регулирующего угловую скорость вращения гироскопа [2]. Нестабильность частоты вращения ротора приводит к нестабильности кинетического момента и появлению ошибки гироскопа.

Дифференциальное уравнение вращательного движения ротора электростатического гироскопа имеет вид [2]

$$\frac{dH}{dt} = \mathcal{F}_0^2 \operatorname{Im} W (1W) \quad (1)$$

где H – кинетический момент ротора;

ρ_0 – радиальный дебаланс ротора;

$\omega^l(\Omega)$ – передаточная функция следящей системы подвеса, которая является дробно-рациональной функцией угловой скорости вращения ротора Ω .

Линеаризуя уравнение вблизи стационарной угловой скорости Ω_0^2 , получим

$$\frac{dH}{dt} = -k_0(W - W_0) \quad (2)$$

где k_0 – постоянный коэффициент, пропорциональный производной по Ω от мнимой части передаточной функции и квадрату радиального дебаланса ротора, зависимость которого от температуры в данной работе будем пренебрегать.

Угловая скорость вращения ротора пропорциональна его кинетическому моменту

$$\Omega = H / J(t) \quad (3)$$

где $J(t)$ – момент инерции ротора, который при изменении температуры будет явной функцией времени. Согласно [4] и [5] при малых k_0 и μ_1 ротор является однородным шаром переменного радиуса, поэтому функцию $J(t)$ найдем по формуле момента инерции однородного шара массой m и радиуса $R + U(t)$ [3]

$$J(t) = \frac{2}{5} m [R + U(t)]^2 \approx \frac{2}{5} m [R^2 + 2RU(t)] \quad (4)$$

Здесь $u(t) = \int N(t - \xi) F(\xi) d\xi$ – перемещение точек поверхности ротора, $N(t)$ -функция веса.

Принимая во внимание (4), перепишем уравнение (2) в форме

$$\tau_2 \frac{dH}{dt} = -f(t) H + H_0 \quad (5)$$

где $f(t) = 1 - 2u(t)/R$, $\tau_2 = 2mR^2 / (5K_0)$ – постоянная времени эквивалентного двигателя, заменяющего подвес;

H_0 – стационарное значения кинетического момента гироскопа.

Решение уравнения (5) имеет вид

$$H(t) = H(0) * \exp\left[-\int_0^t f(\tau) d\tau / \tau_2\right] + H_0 * \int_0^t \exp\left[-\int_0^\tau f(\xi) d\xi / \tau_2\right] d\tau \quad (6)$$

Одно из возможных упрощений формулы (6) связано с допущением о том, что в начальный момент времени значение кинетического момента ротора совпадает с его стационарным значением: $H(0) = H_0$.

Кроме того, пользуясь малостью деформаций ротора при изменении температуры, разложим подынтегральные выражения в (6) в ряды по малому параметру $2u(t)/R$ и удержим в этих рядах только линейные члены [2]. Тогда для кинетического момента гироскопа получится приближенная формула:

$$H(t) = H_0 + 2H_0 * \int_0^t \exp[(\xi - t) / \tau_2] u(\xi) / R / \tau_2 d\xi \quad (7)$$

Разделив выражения для вектора кинетического момента на переменный момент инерции ротора (4), получим окончательное выражение для угловой скорости ротора электростатического гироскопа

$$\Omega(t) = \Omega_0 \left[1 + \int_0^t N_1(t - \xi) F(\xi) d\xi \right] \quad (8)$$

где

$$N_1(t) = \frac{2\alpha_t}{\tau_1 - \tau_2} \left[\frac{\tau_2}{\tau_1} \exp(-t / \tau_1) - \exp(-t / \tau_2) \right] \quad (9)$$

Найденное выражение для функции веса $N_1(t)$ не содержит особенности при $\tau_2 = \tau_1$. При указанном значении постоянной времени «электростатического двигателя» выражение $\left[\frac{\tau_2}{\tau_1} \exp(-t / \tau_1) - \exp(-t / \tau_2) \right] / (\tau_1 - \tau_2)$ следует заменить на ограниченное

при всех моментах времени t выражение $-(t - \tau_1) * \exp(-t / \tau_1) / \tau_1^2$. Формулы (8), (9) дают решение поставленной задачи о зависимости угловой скорости гироскопа от температуры окружающей среды.

Числовые оценки. При работе реального электростатического гироскопа были проведены замеры угловой скорости вращения ротора и температуры кожуха ротора, которую можно принять в качестве температуры окружающей среды. Измерение проводилось в течение 194 часов с интервалом $\Delta t = 1$ час. Отклонение температуры окружающей среды от среднего значения в 23 °С не превышало 2,5°, а отклонение угловой скорости вращения ротора находилось в пределах 0,3 об/сек. от номинального значения 3000 об/сек.

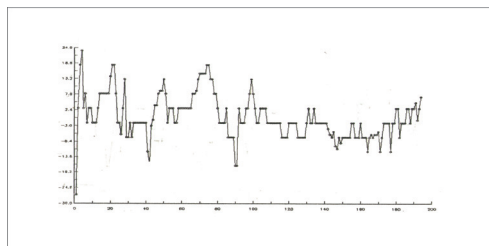
При обработке экспериментальных данных вначале проводилось их «центрирование», т.е. подсчитывалось среднее значение элементов массива, а затем от каждого элемента массива вычиталось его среднее значение. Экспериментальные зависимости температуры и угловой скорости ротора от времени приведены на рисунке 1.

Теоретические расчеты угловой скорости как функции температуры окружающей среды проводились по рекуррентным формулам

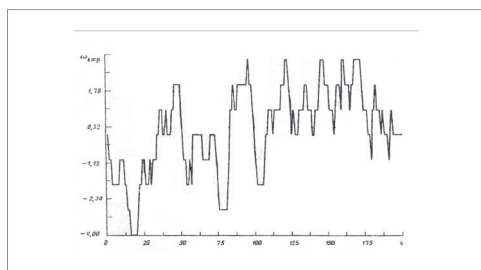
$$\omega(n) = 2\Omega_0 \alpha_t \tau_2 / (\tau_1 - \tau_2) [\omega_1(n) - \omega_2(n)] \quad (10)$$

$$\omega_i(n) = F(n) + [\omega_i(n-1) - F(n)] \exp(-\Delta t / \tau_i), \quad \omega_i(0) = 0, \quad (i=1,2).$$

Здесь $\omega(t) = \Omega(t)$ при $t = n * \Delta t$, т.е. $\omega(n)$ – суть значения флуктуации угловой скорости на n -ом шаге измерения ($n=1,2,\dots,194$), $F(n)$ – флуктуация.



а)



б)

Рисунок 1 – Экспериментальные зависимости температуры (а) и угловой скорости ротора от времени (б)

При выводе формул (10) функция $F(\xi)$ в (8) на интервале времени Δt принималась постоянной. На рисунке 2 приведена зависимость изменения угловой скорости вращения ротора, полученная по формулам (10) при $\alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, $\tau_1 = 0,45$ и $\tau_2 = 5,4$ часа.

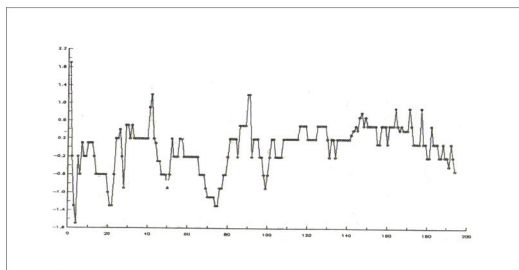


Рисунок 2 – Зависимость изменения угловой скорости вращения ротора от времени

Из сравнения кривых, приведенных на рисунках 1 и 2 видно, что амплитудные значения изменения угловой скорости вращения ротора,

полученные теоретическим путем, меньше, чем экспериментальные, примерно в 2 раза. Из этого можно сделать вывод, что кроме рассмотренного выше механизма, обусловленного температурными деформациями ротора, на стабильность угловой скорости влияют и другие факторы. Так например, при изменении температуры среды может происходить изменение номинальных значений элементов (емкостей, резисторов и т.д.) следящей системы подвеса, что приводит к изменению стационарной угловой скорости Ω_0 вращения ротора в (2).

Результаты расчетов, выполненных с помощью рекуррентной формулы (10), показывают, что при уменьшении постоянной времени τ_2 эквивалентного двигателя флуктуации угловой скорости уменьшаются. Для постоянной времени τ_1 , определяющей скорость теплообмена ротора с окружающей средой, оказалось, что ее уменьшение приводит к увеличению флуктуаций угловой скорости, т.е. уменьшение степени черноты поверхности увеличивает стабильность угловой скорости гироскопа. Максимальное значение флуктуации угловой скорости можно найти предельным переходом при $\tau_2 \rightarrow \infty$ и $\tau_1 \rightarrow 0$, что совпадает с оценками, получаемыми из теоремы о сохранении момента количество движения ротора гироскопа, температура которого равна температуре окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пельпор, Д. С. Гироскопические системы ориентации и стабилизации. Справочное пособие. — М. : Машиностроение, 1982. — 165 с.
- 2 Мартыненко, Ю. Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. — М. : Наука, 1988. — 368 с.
- 3 Ландау, Л. Д. Лифшиц, Е. М. Теоретическая физика. Т.7. Теория упругости. — М. : Наука, 1965. — 203 с.
- 4 Байжуманов, М. М., Карипбаев, С. Ж., Сартаев, К. З. Математическая модель распределения температуры в роторе электростатического гироскопа // Материалы 11 международной научно-технической конференции, АВИА 2013, Космические агентства Украины, Национальный авиационный университет, ДП «Антонов». — Киев, 20-23 мая 2013 г. — С. 29-32.
- 5 Байжуманов, М. М., Карипбаев, С. Ж., Сартаев, К. З. Задача о напряженно-деформированном состоянии ротора электростатического гироскопа // Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете Стратегии «Казахстан-2050». — Астана, 6-8 июня 2013.

*Жезказганский университет имени О. А. Байконурова, г. Жезказган;

**Екибастузский инженерно-технический институт
имени К. Сатпаева, г. Екибастуз;

**АО «Академия гражданской авиации», г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 15.09.14.

*Е. Аринов**, *К. З.Сартаев***, *М. Қ. Байжұманов****, *С. Ж. Қарипбаев****

Электростатикалық гироскоптың инерция моменті айнымалы серпімді роторының жанаспаған ілгіштегі қозғалысы

*Ө. А. Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған қ.;

**Қ. Сәтбаев атындағы Екібастұз

инженерлік-техникалық институты, Екібастұз қ.;

***«Азаматтық Авиация Академиясы» АҚ, Алматы қ.

Материал 15.09.14 баспаға түсті.

*E. Arinov**, *K. Z. Sartayev***, *M. K. Bayzhumanov****, *S. ZH. Karipbayev****

Movement of an elastic rotor of an electrostatic gyroscope with the variable moment of inertia in non-contact subweight

*О. А. Baykonurov Zhezkazgan university, Zhezkazgan;

**Ekibastuz Technical Institute named after K. Sartayev, Ekibastuz;

***JS «Civil Aviation Academy», Almaty.

Material received on 15.09.14.

Бұрыштық жылдамдықтың тұрақтылығына қоршаған ортаның температурасы өзгерген кезде болатын ротордың өлшеміннің өзгеруі әсер етеді. Ротор ішіндегі температура градиенттерінің туындауы электростатикалық гироскоп роторы материалының әркелкі ұлғаюына алып келеді және оның кернеулік-деформациялық күйінің өзгеруімен жалғасып, ротордың сыртқы бетінің өзгеруіне алып келеді. Ротордың айналу жиілігінің тұрақсыздығы кинетикалық сәттің тұрақсыздығын тудырып, гироскоп қателігінің пайда болуына алып келеді. Электростатикалық гироскоптың айнымалы инерция сәтті роторының бұрыштық жылдамдығының формуласы алынған. Қоршаған ортаның температурасынан тәуелді функция түріндегі бұрыштық жылдамдықтың теориялық есептеулері шынайы электростатикалық гироскопта жұмыс істеу кезінде алынған сараптаманың мәліметтерімен салыстырылды.

Stability of angular speed is influenced by change of the sizes of the rotor, occurring at ambient temperature change. Having emergence gradients of temperature in a rotor will lead to unequal expansion of

a material in an electrostatic rotor (ESR) and will be accompanied by change of its intense and deformed state that in turn will lead to change of an external surface of a rotor. Instability of rotor moving frequency will result in instability of the cinematic moment and emergence of an error of a gyroscope. Expression for the angular speed of an ESR rotor with the variable moment of inertia is received. Theoretical calculations of angular speed as the function of ambient temperature was compared to experiment data which were obtained during the work of real ESR.

УДК 621.311.

Д. С. Ахметбаев, А. Д. Ахметбаев

СИСТЕМНЫЕ ФУНКЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХПОЛЮСНИКОВ

В работе предлагается методика расчета системных функций двухполюсника на основе коэффициентов распределения задающих токов. Показана эффективность предлагаемого метода на примере схемы различной конфигурации.

В теоретической электротехнике особое внимание уделяется к двухполюсникам, так как общая задача анализа часто сводится к определению тока или напряжения какой-либо одной ветви сложной схемы электрической цепи. Относительно выделенной ветви, вся остальная часть схемы условно изображается в виде прямоугольника, называемой двухполюсником.

Пассивный двухполюсник, запитанный от идеального источника тока, изображен на рисунке 1.

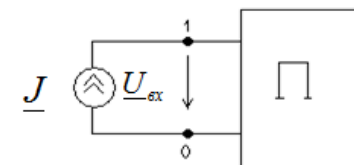


Рисунок 1 – Двухполюсник

Если считать, что воздействие источника тока J является возмущением, то в качестве реакции цепи на это возмущение может быть принято

его входное напряжение $\underline{U}_{\text{вх}}$. Тогда, системная функция сопротивления двухполюсника определяемая как отношение вынужденной реакции цепи на возмущение /1/

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}_{\text{вх}}}{\underline{J}}, \quad (1)$$

характеризуется, согласно выражению (1), с его входным сопротивлением.

Входное сопротивление, как известно, определяется эквивалентным преобразованием исходной схемы и приведением ее к простейшему виду. Сущность эквивалентного преобразования заключается в том, что токи и напряжения в элементах цепи не участвующих в преобразованиях до и после эквивалентирования должны оставаться неизменными. При этом изменяется геометрический образ преобразуемой части цепи с соответствующим изменением ее параметров.

Применение теории матричной алгебры позволяет получить уравнение преобразованной эквивалентной схемы, которое может быть основой для составления геометрического образа и определения параметров эквивалентной схемы /2,3/. Следует отметить, что само преобразование матричного уравнения не встречает особых затруднений, а затруднения возникают при составлении эквивалентной схемы и определении ее параметров.

Использование методик расчета узловых сопротивлений сложной схемы электрической сети энергосистемы, разработанной в /4/, позволяет вычислить входное сопротивление двухполюсника без применения каких-либо способов преобразований схемы, по формуле

$$\underline{Z} = \underline{C}^t \underline{Z}_e \underline{C} \quad (2)$$

Для обеспечения наглядности и простоты изложения рассмотрим различные схемы двухполюсника.

Последовательное соединение нагрузки

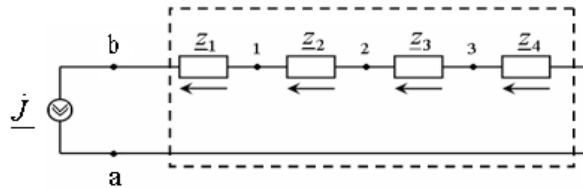


Рисунок 2 – Незвращенная цепь

Для схемы с последовательно соединенными сопротивлениями, изображенной на рисунке 2, матрица \underline{C} определяется непосредственно по схеме, и имеет вид:

$$\underline{C} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Выражение для системной функции сопротивления двухполюсника, определяемое по формуле (2), в развернутой форме запишется:

$$\underline{Z}_{\text{вх}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = z_1 + z_2 + z_3 + z_4, \quad (3)$$

Как видно из формулы 3, результаты произведения матриц представлены в виде суммы сопротивлений ветвей, которые полностью совпадают с правилом эквивалентирования последовательной цепи.

Параллельное соединение нагрузки. Для схемы, изображенной на рисунке 3.

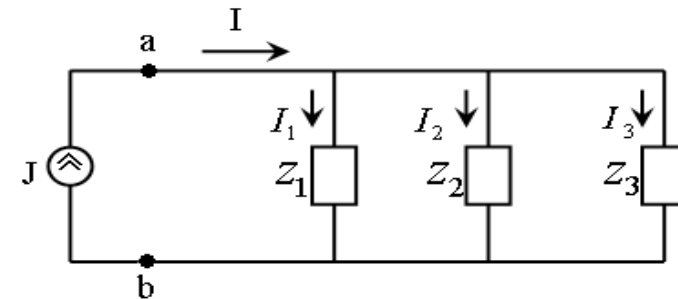


Рисунок 3 – Параллельная цепь

матрица коэффициентов распределения задающего тока определяется выражением:

$$C = \begin{pmatrix} 1 - \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \\ \frac{z_1 z_{22} - z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \\ \frac{z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \end{pmatrix},$$

где $z_{11} = z_1 + z_2$, $z_{22} = z_2 + z_3$.

Тогда, выражение для системной функции сопротивления, запишется в виде

$$Z_{\text{ав}} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_2^2} & \frac{z_1 z_{22} - z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} & \frac{z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \\ \frac{z_1 z_{22} - z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \\ \frac{z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix} = Z_1 \left(1 - \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \right) + Z_2 \left(\frac{z_1 z_{22} - z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \right) + Z_3 \left(\frac{z_1 z_2}{z_{11} z_{22} - z_2^2} \right) = \frac{z_1 z_2 z_3}{z_1 z_2 + z_1 z_3 + z_2 z_3} \quad (4)$$

В результате умножения трех матриц получено выражение для системной функции сопротивления совпадающее с формулой, определяемой обычным эквивалентированием параллельной цепи.

Смешанное соединение нагрузки. Матрица коэффициентов токораспределения для схемы, изображенной на рисунке 4.

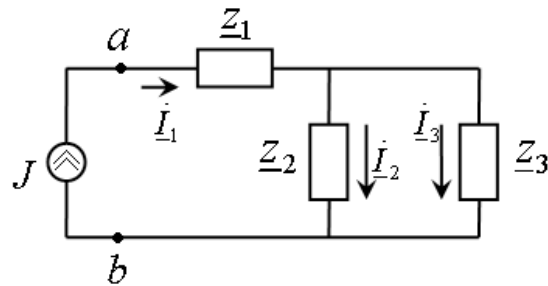


Рисунок 4 – Смешанное соединение цепи имеет вид

имеет вид

$$C = \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{z_3}{z_2 + z_3} \\ \frac{z_2}{z_2 + z_3} \end{pmatrix},$$

В результате преобразования матричного уравнения, составленного для расчета системной функции сопротивления

$$Z_{\text{ав}} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{z_3}{z_2 + z_3} & \frac{z_2}{z_2 + z_3} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \end{pmatrix} = z_1 + \frac{z_2 z_3}{z_2 + z_3}, \quad (5)$$

получено выражение совпадающее с формулой, определяемой обычным преобразованием.

Таким образом, выше проведенные матричные преобразования уравнений системных функций сопротивления применительно к простейшим схемам, не требуют дополнительных доказательств.

Сложное соединение нагрузки. Системная функция сопротивления относительно зажимов (01) схемы изображенной на рисунке 5.

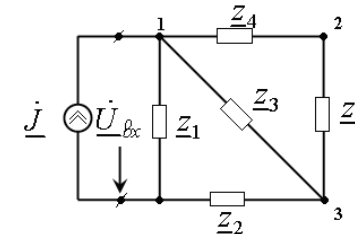


Рисунок 5 – Сложные соединения нагрузки

определяется согласно выше изложенной методике по формуле, которая в результате матричного преобразования имеет вид

$$Z_{\text{ав}} = \begin{pmatrix} \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} - 1 & \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} & \frac{z_1 (z_4 + z_5)}{z_{11} z_{22} - z_3^2} & \frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} & \frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \\ z_5 \end{pmatrix}$$

$$* \begin{pmatrix} \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} - 1 \\ \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \\ \frac{z_1(z_4 + z_5)}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \\ \frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \\ \frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \end{pmatrix} = z_1 \left(\frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} - 1 \right)^2 + z_2 \left(\frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \right)^2 + z_3 \left(\frac{z_1(z_4 + z_5)}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \right)^2 + z_4 \left(\frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \right)^2 + z_5 \left(\frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \right)^2 =$$

$$\text{где } = \frac{z_1 [z_{22}(z_2 + z_3) - z_3^2]}{z_{11} z_{22} - z_3^2},$$

$$C = \begin{pmatrix} \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} - 1 \\ \frac{z_1 z_{22}}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \\ \frac{z_1(z_4 + z_5)}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \\ \frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \\ \frac{z_1 z_3}{z_{11} z_{22} - z_3^2} \end{pmatrix} \text{ – столбцовая матрица комплексных коэффициентов токораспределения;}$$

$Z_{11} = Z_1 + Z_2 + Z_3$, $Z_{22} = Z_3 + Z_4 + Z_5$ - контурные сопротивления.

Справедливость расчетной формулы (6) может быть проверена путем определения входного сопротивления цепи относительно зажимов (01) на основе последовательно – параллельного преобразования цепи.

Таким образом, понятия системной функции сопротивления и входное сопротивление для двухполюсников, имеют одинаковую физическую сущность и расчетных выражений.

Выводы:

1. Предлагаемая методика расчета системных функций сопротивления может быть использована для схемы двухполюсника произвольной сложности.

2. Эффективность аналитического метода возрастает по мере роста количества преобразований исходной схемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Толстов, Ю. Г. Теврюков, А. А. Теория электрических цепей. – М. : Высшая школа, 1971. – 296 с.

2 Максимович, Н. Г. Линейные электрические цепи и их преобразования. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1961. – 264 с.

3 Мельников, Н. А. Матричный метод анализа электрических цепей. – М. : Энергия, 1972. – 231 с.

4 Ахметбаев, Д. С. Расчет узловых сопротивлений сложной схемы электрической цепи энергосистем. Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, №10, 2003.

Приложение

Пример 1. Пусть для схемы, изображенной на рисунке 5, сопротивления ветвей численно равны $z_1 = 1$, $z_2 = 2$, $z_3 = 3$, $z_4 = 4$, $z_5 = 5$, тогда значение системной функции сопротивления двухполюсника определяется непосредственно по формуле (6)

$$Z = \frac{1[12*(2+3) - 3^2]}{6*12 - 3^2} = \frac{51}{63} = 0.8095$$

где $z_{11} = z_1 + z_2 + z_3 = 6$, $z_{22} = z_3 + z_4 + z_5 = 12$.

С другой стороны, ее значение может быть найдено путем преобразования схемы относительно зажимов (01), следующим образом

$$z_6 = z_4 + z_5 = 9$$

$$z_7 = \frac{z_6 z_3}{z_6 + z_3} = \frac{9*3}{9+3} = \frac{27}{12} = 2.25$$

$$z_8 = z_7 + z_2 = 2.25 + 2 = 4.25$$

$$z_{ax} = \frac{z_8 z_1}{z_8 + z_1} = \frac{4.25}{5.25} = 0.8095.$$

Пример 2. Для схемы двухполюсника изображенной на рисунке 6.

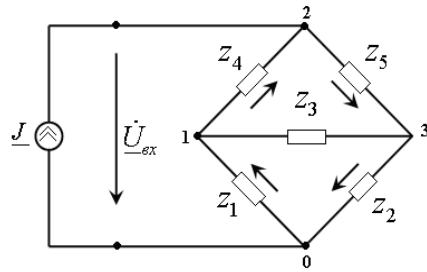


Рисунок 6

Столбцовая матрица коэффициентов токораспределения имеет вид

$$\tilde{N} = \frac{1}{z_{11}z_{22} - z_3^2} \begin{pmatrix} -(z_2z_{22} + z_3z_5) \\ z_1z_{22} + z_3z_4 \\ z_1z_5 - z_2z_4 \\ -(z_5z_{11} + z_2z_3) \\ z_4z_{11} + z_1z_3 \end{pmatrix}$$

Системная функция сопротивления относительно зажимов (02), при тех же значениях сопротивлений ветвей, примера 3-1, определяется в виде

$$Z = \frac{1}{(z_{11}z_{22} - z_3^2)^2} \begin{vmatrix} -(z_2z_{22} + z_3z_5) & z_1z_{22} + z_3z_4 & z_1z_5 - z_2z_4 & -(z_5z_{11} + z_2z_3) & z_4z_{11} + z_1z_3 \end{vmatrix}^*$$

$$* \begin{vmatrix} z_1 & & & & \\ & z_2 & & & \\ & & z_3 & & \\ & & & z_4 & \\ & & & & z_5 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} -(z_2z_{22} + z_3z_5) \\ z_1z_{22} + z_3z_4 \\ z_1z_5 - z_2z_4 \\ -(z_5z_{11} + z_2z_3) \\ z_4z_{11} + z_1z_3 \end{vmatrix} = \frac{1}{(z_{11}z_{22} - z_3^2)^2} *$$

$$* [z_1(z_2z_{22} + z_3z_5)^2 + z_2(z_1z_{22} + z_3z_4)^2 + z_3(z_1z_5 - z_2z_4)^2 + z_4(z_5z_{11} + z_2z_3)^2 + z_5(z_4z_{11} + z_1z_3)^2] =$$

$$= \frac{1}{(6 \cdot 12 - 3^2)^2} [1(2 \cdot 12 + 3 \cdot 5)^2 + 2(1 \cdot 12 + 3 \cdot 4)^2 + 3(1 \cdot 5 - 2 \cdot 4)^2 + 4(5 \cdot 6 + 2 \cdot 3)^2 + 5(4 \cdot 6 + 1 \cdot 3)^2] =$$

$$= \frac{11529}{3969} = 2.9047 \tag{7}$$

Значение системной функции сопротивления схемы относительно зажимов (02) может быть найдено путем ее преобразования. Как видно

из схемы рисунка 6, чтобы найти значение входного сопротивления схемы необходимо преобразовать звезду с сопротивлениями Z_1, Z_3, Z_4 в эквивалентный треугольник, с сопротивлениями Z_6, Z_7, Z_8 . Тогда преобразованная схема имеет вид:

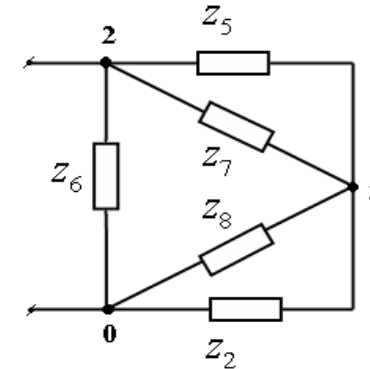


Рисунок 7.

где

$$z_6 = z_1 + z_4 + \frac{z_1z_4}{z_3} = 1 + 4 + \frac{1 \cdot 4}{3} = 6.3333;$$

$$z_7 = z_3 + z_4 + \frac{z_3z_4}{z_1} = 3 + 4 + \frac{3 \cdot 4}{1} = 19;$$

$$z_8 = z_1 + z_3 + \frac{z_1z_3}{z_4} = 1 + 3 + \frac{1 \cdot 3}{4} = 4.75.$$

Искомое значение системной функции сопротивления, по схеме рисунка 7, легко определяется путем параллельного и последовательного сложения элементов в виде

$$z_9 = \frac{z_5z_7}{z_5 + z_7} + \frac{z_2z_8}{z_2 + z_8} = \frac{5 \cdot 19}{5 + 19} + \frac{2 \cdot 4.75}{2 + 4.75} = 5.3657$$

$$z_{\text{вх}} = \frac{z_6z_9}{z_6 + z_9} = \frac{6.3333 \cdot 5.3657}{6.3333 + 5.3657} = 2.9047,$$

что совпадает с ранее полученным результатом.

Пример 3. Для схемы двухполюсника изображенной на рисунке 6, при обеспечении её симметричности относительно зажимов (02), то есть при значениях сопротивлений ветвей $z_1 = z_2 = 2$ и $z_4 = z_5 = 5$, входное

сопротивление схемы определяется на основе последовательного и параллельного преобразования в виде:

$$Z_{\text{эк}} = \frac{(z_1 + z_4) * (z_2 + z_5)}{z_1 + z_4 + z_2 + z_5} = \frac{(2 + 5) * (2 + 5)}{2 + 5 + 2 + 5} = \frac{7 * 7}{4 + 10} = \frac{49}{14} = 3.5$$

Это же значение системной функции сопротивления может быть найдено аналитическим путем, по формуле:

$$Z = \frac{1}{(z_{11}z_{22} - z_{12}^2)^2} * [z_1(z_2z_{22} + z_3z_5)^2 + z_2(z_1z_{22} + z_3z_4)^2 + z_3(z_1z_5 - z_2z_4)^2 + z_4(z_3z_{11} + z_2z_3)^2 + z_5(z_4z_{11} + z_1z_3)^2] =$$

$$= \frac{1}{(7*13-3^2)^2} * [2(2*12+3*5)^2 + 2(2*13+3*5)^2 + 3(2*5+2*5)^2 + 5(5*7+2*3)^2 + 5(5*7+2*3)^2] =$$

$$= \frac{1}{6724} * 6724 = 3.5$$

Евразийский национальный университет
имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.
Материал поступил в редакцию 19.09.14.

D. S. Akhmetbayev, A. D. Akhmetbayev

Екі полюстік қарсыласудың жүйелі функциялары

Л.Н.Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.
Материал 19.09.14 баспаға түсті.

D. S. Akhmetbayev, A. D. Akhmetbayev

System functions of bipolar resistance

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana.
Material received on 19.09.14.

Бұл мақалада берілетін токты болу коэффициенті негізінде екіполюстің жүйелік функциясын есептеу әдістемесі ұсынылған. Ұсынылған әдістің тиімділігі әртүрлі конфигурациядағы кесте үлгісінде көрсетілген.

The paper proposes a method of calculating a bipole's system functions based on the specified currents distribution coefficients. The efficiency of the method is demonstrated on the example of the various configuration circuits.

УДК 622.324

Е. В. Бек

ВЛИЯНИЕ СЛАНЦЕВОЙ РЕВОЛЮЦИИ В США НА ЕВРОПЕЙСКИЙ ГАЗОВЫЙ РЫНОК

В данной статье рассмотрены вопросы влияния сланцевой революции в США на европейский газовый рынок.

В 2012 г. стали четко видны последствия так называемой «сланцевой революции» в США, также как и структурное изменение внутреннего рынка Соединенных Штатов. Объем добычи сланцевого газа вырос с 81 млрд. м³ в 2008 г. до 220 млрд. м³ в 2012 г. [1], что наряду с остальными источниками энергии полностью обеспечило рынок США.

Однако, увеличение добычи сланцевого газа в США изменила расстановку энергетических сил не только в США, но и за ее пределами.

Следует выделить несколько факторов, оказавших заметное влияние на европейский рынок газа.

Во-первых, это перераспределение поставок, предназначавшихся США, на рынок Европы.

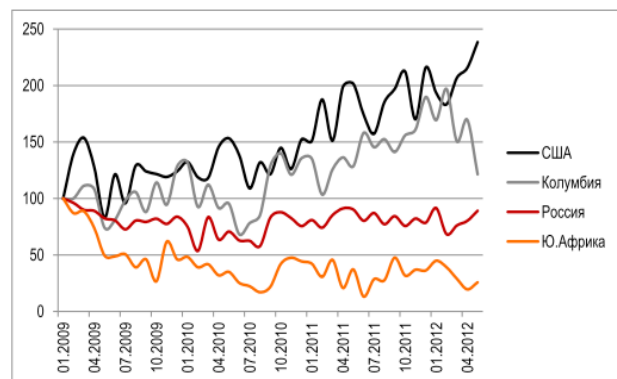
Итак, снижение внутреннего спроса на газ, наряду со значительным увеличением добычи сланцевого газа, заметно сократили необходимость США в импорте сжиженного природного газа (СПГ). Как результат, поставки СПГ, предназначавшиеся для США, были переориентированы на спотовый рынок Европы. Это поставщики преимущественно с Ближнего Востока и Африки (Катар, Нигерия, Оман т.д.) С 2003 г. по 2010 г. Катар увеличил свой экспорт в Европу в 17 раз [2], в результате чего уже сейчас направляется более 20% мирового экспорта СПГ.

Однако, спрос в Европе также уменьшился в следствии глобального кризиса. В итоге, можно говорить о перенасыщенности рынка Европы. В ЕС дополнительные объемы импортируемого сжиженного природного газа начали конкурировать с основными поставщиками – Россией, Норвегией, Алжиром. В таких условиях импортеры по долгосрочным контрактам снижают поставки до минимального уровня, предусмотренного опцией «бери и/или плати» и требуют от поставщика либо об изменении минимального закупочного уровня, либо изменении формулы ценообразования и внесения спотовой индексации.

Во-вторых, большое влияние на рынок газа в Европе оказал поток дешевого угля, хлынувший на рынок ЕС. Дело в том, что с 2006 по 2011 год генерация электроэнергии на газовых станциях в Соединенных

Штатах возросла на 23%, тогда как использование угля в энергогенерации сократилась на 11%. [3]. В связи с этим, угледобывающим компаниям стало все сложнее сбывать уголь на внутреннем рынке. Как результат, дешевый уголь из США стал экспортироваться на рынок Европы. Если в 2008-2009 гг., импорт американского угля составлял 12% в общем импорте, в 2010 году – 13%, то по итогам 2011 г. она равнялась уже 17%, в количественных единицах прибавка за последний год превысила 670 т. (+ 28%) [4]. (см. Рисунок 1)

Динамика поставок угля в Европу, (январь 2009 года – 100%)



Источник: Eurostat

Рисунок 1 – Динамика поставок угля в Европу

Только Германия увеличила поставки угля из-за океана на 40%, а Италия и Нидерланды – более, чем на 50%. Масштабный экспорт американского угля на европейский рынок произвел громадный эффект. Будучи конкурентным по цене, дешевый уголь из США не только потеснил других его поставщиков, но и значительно повлиял на газовый рынок. Вялый спрос, избыток предложения и мягкая погода – вот факторы, почему европейские энергетики предпочитают уголь газу. Таким образом, сланцевый газ, добытый в США, переполнивший местный рынок и вытеснивший с него экологически неблагоприятный уголь, дошел до Европы, где постепенно вытесняет поставки газа на европейский рынок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Статистика U.S. Energy Information Administration.2012. [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.eia.gov>

2 BP. Statistical review of world energy. 2012. [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bp.com/sectiongenericarticle800.do?categoryId=9037128&contentId=7068555>

3 С. Мельникова. Черная волна сланцевой революции. [электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.eriras.ru/files/chjernaja_volna_slancjevoj_gjevoljucii.pdf

4 Eurostat. the yearbook.2011. [электронный ресурс] – Режим доступа: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/international_trade/publications/statistical_yearbook

НИИ «Томский политехнический университет, г. Томск, Россия.
Материал поступил в редакцию 17.09.14.

Е. В. Бек

АҚШ-тағы сланц көтерілісінің еуропалық газ нарығына ықпалы
ГЗИ «Томск политехникалық университеті», Томск қ., Ресей.
Материал 17.09.14 баспаға түсті.

Е. V. Bek

The impact of the shale gas revolution in the USA on the European gas market

NR «Tomsk Polytechnic University», Tomsk, Russia.
Material received on 17.09.14.

Берілген мақалада АҚШ сланц революциясының еуропаның газ нарығына тигізілетін әсерінің сұрақтары қарастырылған.

This article examines the impact of the shale gas revolution in the United States on the European gas market.

Е. В. Бек

ПЕРЕСМОТР ДОЛГОСРОЧНЫХ КОНТРАКТОВ (ДСК) ООО «ГАЗПРОМ ЭКСПОРТ» НА ЕВРОПЕЙСКОМ ГАЗОВОМ РЫНКЕ

В данной статье рассмотрены вопросы пересмотра долгосрочных контрактов (ДСК) ООО «Газпром экспорт» на европейском газовом рынке.

Ключевые слова: Долгосрочные контракты с привязкой к цене нефтепродуктов; спотовые площадки; условие «бери и/или плати».

В последние годы европейский рынок газа претерпевает серьезные изменения. Экономический кризис 2009-2011 гг. в сочетании с устойчивой энергетической политикой Европейского Союза по декарбонизации, уменьшают спрос на газ в то время, как газовые поставки в ЕС продолжают увеличиваться, также как и их многообразие. В результате «сланцевой революции» в США европейский газовый рынок оказался перенасыщен поставками сжиженного природного газа, предназначавшегося для США. Разница между ценами этого газа на спотовых площадках Европы и газом, поставляемым по традиционным контрактам «Газпрома» достаточно велика.

В связи с этим, конкурентоспособность российского газа, поставляемого на основе долгосрочных контрактов с привязкой на цену нефтепродуктов, заметно снизилась. Исходя из этого, многие основные партнеры «Газпрома» стали требовать пересмотра условий действующих контрактов. За 2012 год контракты с 7 зарубежными компаниями были пересмотрены. В январе 2013 г. Французская компания GdF Suez, австрийская Econnas и немецкие Wingas и WIEN подали заявки на пересмотр условий своих контрактов с Газпромом [1].

Для сохранения своих позиций на рынке, ООО «Газпром экспорт» необходимо было адаптировать свои долгосрочные контракты, чтобы гибко реагировать на изменения газового рынка Европы.

С 2003 по 2011 гг. объемы торговли газом на всех спотовых площадках Европы выросли более, чем вдвое. Если до 2007 г. доля спотовой торговли увеличивалась незначительно, то в 2008-2010 гг. на фоне кризиса и избытка предложения газа, цены на хабах оказались заметно ниже цен по долгосрочным контрактам. Так, по итогам 2011 года доля спотовой торговли составила 54% от общего объема потребления ЕС-28.

Доля спотовых поставок в структуре европейского рынка

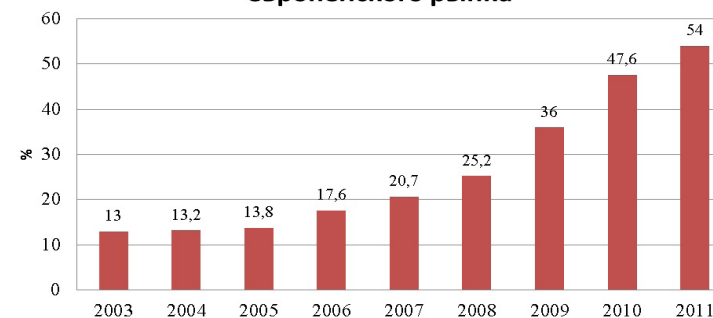


Рисунок 1 – Доля спотовых поставок в структуре европейского рынка.
Источник: IEA

Рост спотовой торговли являлся естественным процессом, подчиняющимся закономерностям развития рынков газа. Однако ее резкий всплеск с 2008 г. можно объяснить несколькими факторами: экономический кризис, а также «сланцевая революция» в США. В период кризиса снижение спроса, избыток СПГ, предназначавшегося в том числе и для США, а также перепродажа не востребовавшегося газа по долгосрочным контрактам привели к резкому снижению цен на европейских хабах.

Возникший разрыв между ценами стал поводом к началу процесса пересмотра условий контрактов. При этом большинство европейских потребителей по-прежнему получает газ по долгосрочным контрактам; однако компаниям поставщикам приходится идти на уступки. Так, голландская GasTerra в полном объеме перешла на TTF в 2010-2011 гг.

Тогда же Statoil переориентировал большинство своих контрактов на спотовые цены [2].

С 2009 г. «Газпром» стал получать от европейских покупателей официальные заявки на пересмотр контрактов. Под нарастающим давлением клиентов, а также с учетом того, что все остальные европейские поставщики меняли контракты, чтобы удержать долю рынка, «Газпрому» также пришлось пойти на уступки.

В феврале 2010 г. руководство «Газпрома» одобрило изменения условий контрактов на поставку газа с крупнейшими европейскими потребителями – E.ON (Германия), ENI (Италия), Botas (Турция) и GDF SUEZ (Франция). По новым условиям контрактов до 15 % поставок были индексируются по ценам спотовых площадок. Также были снижены объемы выборки газа по пункту «бери и/или плати» («take or pay»), однако эти объемы не терялись, а

переносились в счет будущих поставок. При этом А. Медведев подчеркивал, что в долгосрочной перспективе стоимость газа по-прежнему будет привязана к ценам на нефть, и выразил уверенность, что через три года ситуация на газовом рынке улучшится [3].

После предоставления скидок в 2010 г. «Газпром» занял жесткую позицию: компания отказалась от дальнейших уступок. В ответ на отказ «Газпрома», ряд европейских потребителей стал решать вопрос через обращение в арбитраж, что напрямую предусмотрено контрактами, в случае, если стороны не смогут урегулировать противоречия в течение 6 месяцев после начала переговоров.

В 2011 г. «Газпром» стал давать ценовые скидки в индивидуальном порядке. Скидки получили Verbundnetz Gas AG (Германия), DEPA (Греция), и Botas (Турция), причем для двух последних стран ценовые уступки были фактически увязаны с переговорами по Южному потоку [4].

В январе 2012 г. неблагоприятная ситуация на европейском газовом рынке заставили «Газпром» еще раз пойти на уступки. Цены были пересмотрены для Wingas (Германия), GDF SUEZ (Франция), EconGas (Австрия), Sinergie Italiane (Италия) и SPP (Словакия), объемы закупок которых составляли около 25% российского экспорта в Европу. Этим покупателям были предоставлены скидки за счет пересмотра формулы цены. А именно: цены были снижены в среднем на 7-10%. При этом уже не было речи о каком-либо спотовом компоненте, и структура цены, а также обязательства по объемам остались неизменными.

С германской E.ON соглашение по корректировке цен в итоге было достигнуто только в начале июля 2012 г. Ей удалось добиться тех же условий, что были предоставлены ENI и Wingas [5].

До конца года были пересмотрены контракты с компаниями Centrex, GasTerra и польской PGNiG. В ноябре 2012 г. Александр Медведев и председатель правления PGNiG Гражина Пиотровска-Олива подписали дополнение к «Ямальскому контракту» о поставках газа в Польшу по трубопроводу Ямал–Европа, в котором пересмотрены принципы ценообразования по данному контракту. Польская сторона ожидает, что пересмотр формулы выразится, в частности, в экономии примерно \$1 млрд в 2012 году. Стороны также договорились о прекращении арбитражного процесса в Стокгольме, инициированного в феврале Польшей [6].

Таким образом, политика «Газпрома» в отношении пересмотра контрактов основывается на принципе максимально отложенного предоставления минимально приемлемых для покупателей скидок в рамках двусторонних переговоров. «Газпром» ведет переговоры на индивидуальной основе, в зависимости от истории взаимоотношений и стратегической значимости конкретного покупателя.

Резюмируя выше сказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Влияние спотовых цен на ценообразование на газ в Европе будет расти, особенно в связи с законодательно закрепленным в Третьем энергетическом пакете ЕС переходом к новой архитектуре рынка газа ЕС, построенной на спотовой торговле через систему ликвидных рыночных площадок (хабов). Привязка к спотовой торговле уже введена в качестве ценообразующего элемента в некоторые формулы ценообразования на газ, в том числе газпромовские.

2. Газпром смягчил в 2009-2011 гг. некоторые ключевые условия ряда своих европейских контрактов на три года: понизил минимальный уровень обязательств «бери и/или плати» (в среднем с 85 до 60%), ввел в формулу цены привязку к спотовым котировкам (в среднем с весом 15%), отказался от штрафных санкций за невыборку законтрактованных объемов.

Однако, даже с учетом предоставленных скидок, введения частичной индексации по споту и снижения объемов «бери и/или плати», произошло заметное сокращение доли российского газа в европейском импорте [7].

Удержание конкурентоспособной цены и возможность гибкого контрактного маневрирования в ответ на ее колебания дают возможность сохранить рыночную нишу. Для этого, на мой взгляд, требуется не только пересмотр существующих контрактных условий, но и изменения всей экспортной цепочки, а именно отказ от работы на европейском рынке практически исключительно через крупных оптовых покупателей российского газа.

На сегодняшний день у оптовых покупателей-перепродавцов российского газа есть возможность закупать обусловленные обязательствами «бери и/или плати» высокие объемы российского газа и сбрасывать избыточные (сверх уровня потребления) объемы на хабы. Таким образом, покупатели-перепродавцы российского газа обеспечивают понижательное давление на цены [8]. В связи с этим, целесообразно, на мой взгляд, поддерживать максимально высокие конкурентоспособные цены, уменьшая при этом объемы обязательных закупок. Поэтому «Газпром» должен сам выходить на хабы со своим газом, то есть использовать потенциальные преимущества, заложенные в Третьем энергопакете ЕС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Европейцы просят пересмотра цен по контрактам с «Газпромом» [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bfm.ru/news/205325>

2 Сколково. Энергетический центр. Европейский газовый рынок - мечты не всегда сбываются [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://energy.skolkovo.ru/upload/medialibrary/8d8/SEneC_European_Gas_Market_Dreams_Are_Not_Always_Coming_True.pdf

3 A. J. Melling NATURAL GAS PRICING AND ITS FUTURE// Carnegie

Endowment for International Peace. – Режим доступа: carnegieendowment.org/files/gas_pricing_europe.pdf

4 E.ON and Gazprom Reach Settlement on Long-term Gas Supply Contracts [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.naturalgaseurope.com/eon-gazprom-settlement-gas-supply-contracts>

5 Russia and Poland agrees on gas price reduction. – Режим доступа: <http://www.naturalgaseurope.com/russia-and-poland-agrees-on-gas-price-reduction>

6 «Сколково» советует «Газпрому» поменять стратегию в Европе. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://izvestia.ru/news/530408>

7 Конопляник А. Газовый рынок Европы: однообразие или многообразие ценообразования // Нефтегазовая вертикаль – [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.konoplyanik.ru/ru/publications/articles/520_Gazovyj_gynok_Evropy_odnoobrazie_ili_mногоobrazie_cenoobrazovaniya.pdf

НИИ «Томский политехнический университет», г. Томск, Россия.
Материал поступил в редакцию 17.09.14.

Е. В. Бек

Еуропалық газ нарығындағы «Газпром экспорт» ЖШБ ұзақ мерзімді келісімдерін (ҰМК) қайта қарау

ҒЗИ «Томск политехникалық университеті», Томск қ., Ресей.
Материал 17.09.14 баспаға түсті.

Е. V. Bek

Revision of the long-term contracts (LTC) of «Gazprom export» LLC in the European gas market

NR «Tomsk Polytechnic University», Tomsk, Russia.
Material received on 17.09.14.

Берілген мақалада «Газпром экспорт» ЖШБ еуропаның газ нарығындағы ұзақ мерзімді келісімдерін қайта қарау сұрақтары қарастырылған.

This article describes how to revise long-term contracts (LTC) of «Gazprom export» LLC in the European gas market.

УДК 681.5

В. А. Бороденко

ОБ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В MATLAB

Исследуются некоторые проблемы использования программы MATLAB при изучении стандартного курса теории автоматического управления.

Программа MATLAB фирмы Math Works Inc. является мощной вычислительной средой с широкими математическими и графическими возможностями, в том числе в области исследования систем автоматического управления. Думается, в пространстве СНГ она является преимущественным программным обеспечением преподавания курса теории автоматического управления (ТАУ). Для констатации этого факта достаточно проанализировать количество отчетов к лабораторным работам, методических указаний к практическим и лабораторным занятиям, учебных пособий, выполненных с использованием MATLAB и размещенных на различного рода сайтах. В связи с этим, на наш взгляд, пришла пора выбрать принципиальный подход – приспособлять ли MATLAB к типовым программам и учебникам СНГ, либо подгонять понятия, определения и структуру курса ТАУ под особенности программы.

Достоинством программы является ее открытость – можно дописать необходимые функции на достаточно простом языке программирования в виде m-файлов и включить их в стандартную библиотеку. Это способствует реализации первого подхода – адаптации программы. Кроме того, фирма-разработчик и сама оперативно реагирует на появление новых направлений в ТАУ, дополняя программу соответствующими прикладными пакетами, что облегчает изучение этих направлений. В каждой следующей редакции устраняются недочеты предыдущих версий, появляются новые функции, расширяются возможности имевшихся.

Однако такая изменчивость среды MATLAB в ряде случаев играет отрицательную роль, когда в новой версии невозможно найти привычные команды и органы управления ими, изменяется формат вывода данных не в лучшую сторону и т.д.

Недостатком с точки зрения исследования лишь систем управления является также громоздкость и дороговизна программы. В силу универсальности дистрибутив программы (например, версии 7.13 R2011b) достигает размера 5,5 Гбайт, на жестком диске установленная версия

32 бит занимает около 2,2 Гбайт. Громадный объем затрудняет локализацию программы, поэтому версия с русскоязычным сопровождением отсутствует. Существуют проблемы с надписями к рисункам и названиями сохраняемых файлов на русском языке и блоков структурной схемы в среде Simulink (попытка сохранить подобный файл блокируется с предупреждением «... is not a valid model name because it is not a valid MATLAB function name»).

Здесь мы рассмотрим лишь некоторые проблемы изучения стандартного курса линейных систем с помощью MATLAB, в частности, вопросы оценки устойчивости систем управления и регулирования.

В типовой программе ТАУ или близких дисциплин предусмотрено изучение критериев устойчивости Гурвица, Рауса, Михайлова, метода D-разбиения по одному и двум параметрам, чего нет в MATLAB, зато здесь предусмотрен анализ устойчивости по Николсу. Вопрос, что делать преподавателю: дополнять программу MATLAB соответствующими файлами собственного сочинения [1] или перекраивать программу дисциплины? Заметим, что в русскоязычной учебной литературе не предусмотрено изучение диаграммы Николса, следовательно, в этом случае становится необходимым и переписывание учебников.

Функция `isstable(объект)` проверяет устойчивость LTI-объекта, заданного передаточной функцией TF, нулями-полюсами ZPK или в пространстве состояний SS. Возвращается результат 1 (объект устойчив) или 0 (объект неустойчив). Состояний «на периодической или аperiodической границе устойчивости» функция не предусматривает, делая в обоих этих случаях вывод о неустойчивости «ans = 0».

```
>> ww=zpk([], [0+j 0-j], 1) ' два мнимых полюса
```

```
Zero/pole/gain:
```

```
 1
-----
(s^2 + 1)
>> isstable(ww) ' объект на колебательной границе
ans =
  0
```

```
>> q=tf(1, [1 2 0]); ' один нулевой полюс
```

```
>> pole(q)
ans =
  0
 -2
```

```
>> isstable(q) ' объект на аperiodической границе
ans =
  0
```

Между тем, понятия границ устойчивости, нейтральных систем представлены в учебниках [2], например, в формулировке критерия Найквиста «система, устойчивая или нейтральная в разомкнутом состоянии». Более того, система на аperiodической границе устойчивости может классифицироваться как «устойчивая по Ляпунову», устойчивая неасимптотически. Как же объяснять студентам результаты, возвращаемые функцией `isstable()`?

В MATLAB имеется оператор `stabsep()` деления системы на устойчивую и неустойчивую части, в котором имеется возможность представления неустойчивыми полюсов, находящихся от мнимой оси на расстоянии меньшем, чем отступ `offset` (по умолчанию `1e-08`). Например, система, находящаяся практически на границе устойчивости с двумя мнимыми корнями $0 \pm 1.4142i$, за счет погрешности вычислений признана устойчивой.

```
>> q=tf([1 2 3],[1 2 3 4 2]);
>> [q1,q2]=stabsep(q)
```

```
Transfer function: % устойчивая часть q1 (вся система)
                s^2 + 2 s + 3
-----
s^4 + 2 s^3 + 3 s^2 + 4 s + 2
```

```
Transfer function: % неустойчивая часть q2 (отсутствует)
  0
```

Зададим допустимое расстояние до мнимой оси 0.001, теперь декомпозиция на устойчивую и неустойчивую части производится.

```
>> [q1,q2]=stabsep(q,'Offset',0.001)
```

```
Transfer function: % устойчивая часть q1
0.4444 s + 1.111
-----
s^2 + 2 s + 1
```

```
Transfer function: % неустойчивая часть q2 с мнимыми полюсами
-0.4444 s + 0.7778
-----
s^2 + 1.166e-015 s + 2
```

Таким образом, систему на границе устойчивости можно трактовать (за счет отступа от мнимой оси) и как устойчивую, и как неустойчивую, но собственно понятие нейтральной системы отсутствует.

Для оценки устойчивости замкнутой системы по Найквисту при выборе в контекстном меню графика опций Characteristics-Stability Margins в точках, отмеченных маркерами, указываются запасы устойчивости по амплитуде Gain Margin в децибелах, по фазе Phase Margin в градусах, по запаздыванию Delay Margin в секундах и соответствующие им частоты в рад/с, а также дается общая оценка устойчивости системы после замыкания единичной отрицательной обратной связи. После перехода от All Stability Margins к Minimum Stability Margins необходимо самостоятельно снимать флажок у первой опции, иначе изменений не произойдет, что следует отнести к дефектам программы. Значение Inf говорит о том, что по данному параметру система имеет бесконечный запас устойчивости, отрицательные (для АФЧХ первого рода) или нулевые значения – об отсутствии запасов. Обратим внимание на то, что в СНГ максимальным значением запаса по фазе (100 %) считается 180° , а не бесконечность, как в MATLAB.

К недостаткам можно отнести то, что для системы со стопроцентными запасами устойчивости по фазе и амплитуде, например, системы $w=tf(1,[1\ 2\ 3])$, программа не выдает никаких сообщений.

В СНГ запас устойчивости принято считать равным расстоянию от критической точки до точки пересечения АФЧХ с отрицательной действительной полуосью, в данном случае $A_m = 1 - 0.747 = 0.253$ [4]. На диаграмме Найквиста (рисунок 1) запас по модулю Gm (дБ) вычисляется по отношению единицы к отсекаемому на указанной полуоси отрезку A(ω).

```
>> Gm=20*log10(1/0.747)
```

```
Gm =
```

```
2.5336
```

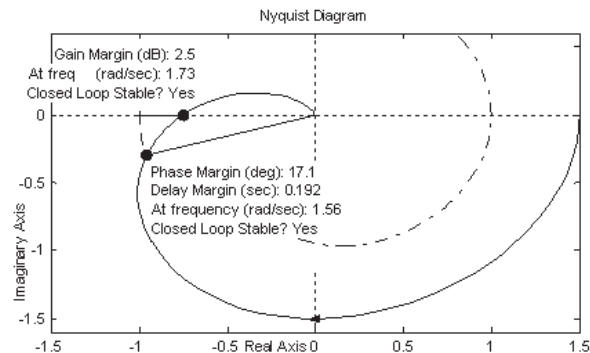


Рисунок 1

Особенность АФЧХ нейтральной системы $w=tf(5,[1\ 2\ 3\ 0])$, имеющей в разомкнутом состоянии нулевой полюс (рисунок 2) – она стремится к началу координат, начинаясь в бесконечности.

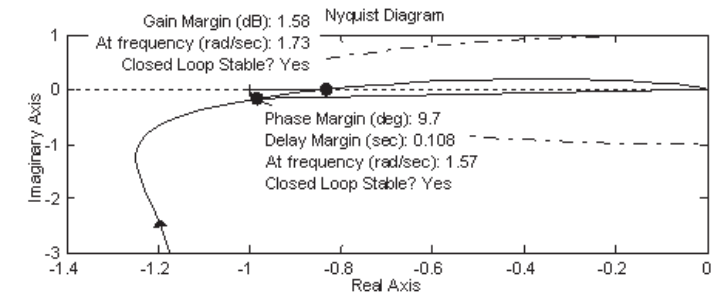


Рисунок 2

Для оценки запасов устойчивости могут также использоваться функция `margin()`, отображающая минимальные из возможных запасы устойчивости (в одну сторону), и `allmargin()`, осуществляющая вывод всех значений запасов устойчивости в виде структуры. При обращении `[Gm, Pm, GmF, PmF] = margin()` данная функция возвращает наименьшие из возможных значения запасов устойчивости по амплитуде Gm и фазе Pm (в градусах) и соответствующие им частоты GmF, PmF, а при отсутствии левой части `margin()` строит диаграмму Бode с вычисленными значениями запасов в заголовке.

```
>> w=tf(3,[1 2 3 2]); % берем рассмотренную ранее систему
>> [gm,pm,gmf,pmf]=margin(w)
gm =
    1.3338
pm =
    17.1340
gmf =
    1.7323
pmf =
    1.5599
>> S=allmargin(w)
S =
    GainMargin: 1.3338 % запасы устойчивости по амплитуде
    GMFrequency: 1.7323 % частоты пересечения линии -180° (рад/с)
    PhaseMargin: 17.1340 % запасы по фазе (град)
    PMFrequency: 1.5599 % частоты среза (рад/с)
```

DelayMargin: 0.1917 % запасы по задержке (с)
 DMFrequency: 1.5599 % частоты среза (рад/с)
 Stable: 1 % система после замыкания устойчива
 (иначе 0 или NaN для FRD систем)

В `margin()` версии 7.01 $G_m = 20\lg(K) = 2.5336$ и измеряется в дБ. В функциях `allmargin()` и `margin()` версии 7.11 G_m – это относительная величина $K = 1/A - 180^\circ = 1/0.747 = 1.3338$, которая вычисляется по отношению единицы к отсекаемому АФЧХ на отрицательной действительной полуоси отрезку, однако в заголовке графика, построенного функцией `margin()`, отображается другое значение G_m , равное $20\lg(K)$. Правильно ли, что одна и та же функция дает для одной системы разные значения запаса на графике и в распечатке?

Система с ПФ `w=tf([10 20 30],[1 2 20 20 2 1])` имеет два вида запаса устойчивости по амплитуде – на увеличение 5.47 дБ и на уменьшение коэффициента усиления -1.41 дБ (рисунок 3).

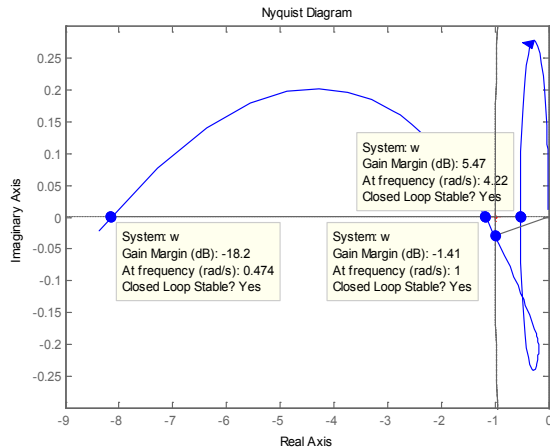


Рисунок 3

Пример показывает, что отрицательное значение запаса устойчивости по амплитуде в MATLAB еще не является признаком неустойчивости системы – это может быть просто запас на уменьшение коэффициента усиления, что обязательно следует анализировать самостоятельно. Более того, функция `allmargin()` выводит под названием `GainMargin` все три пересечения АФЧХ с линией -180° на частотах 0.4744, 1.000 и 4.216 рад/с, даже то (на частоте 0.4744), которое запас устойчивости по амплитуде не характеризует и не отвечает смыслу `GainMargin` (по определению запаса являются значения только при ближайших к частоте пересечения с линией -180° частотах).

```
>> allmargin(w)
```

```
ans =
GainMargin: [0.1225 0.8500 1.8775]
GMFrequency: [0.4744 1.0000 4.2160]
Stable: 1
```

Еще пример некорректной работы программы – для системы $W(s) = 4/(s^4 + 2s^3 + 3s^2 + 4s + 5)$ функция `margin()` дает бесконечное значение запаса устойчивости по амплитуде $G_m = \text{Inf}$ и $P_m = 147.1^\circ$ по фазе, хотя одновременно выводится противоречащее этим запасам предупреждение о неустойчивости системы в замкнутом состоянии `The closed-loop system is unstable`, полученное не из диаграммы Боде, а необъявленным способом.

```
>> w=tf(4,[1 2 3 4 5])
>> [gm,pm]=margin(w)
Warning: The closed-loop system is unstable.
gm =
    Inf
pm =
    147.1087
```

Неясно, почему для системы с внутренней задержкой (рисунок 4) программа делает вывод о невозможности оценить устойчивость `Closed Loop Stable? Not known`, хотя АФЧХ не охватывает точку с координатами $(-1, j0)$, запас по амплитуде равен 2.29 дБ и по фазе 180° .

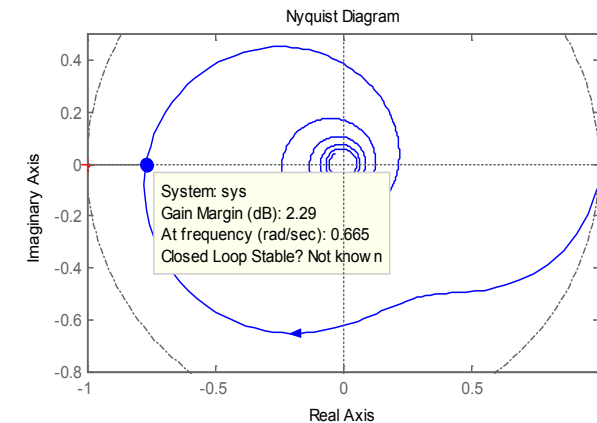


Рисунок 4

Особенный случай показан для системы с передаточной функцией $w=tf(2,[1\ 3\ 2\ 6\ 4\ 5\ 1])$ на рисунке 5, а. Запасы устойчивости программа находит и система кажется устойчивой (даже при использовании правила штриховки), хотя заведомо известно, что в замкнутом состоянии эта система будет неустойчивой – об этом говорит и вывод Closed Loop Stable? No. Очевидно, что этот вывод программа делает не с помощью критерия Найквиста, а иным способом, вероятнее всего самостоятельно замкнув систему и вычислив ее полюсы.

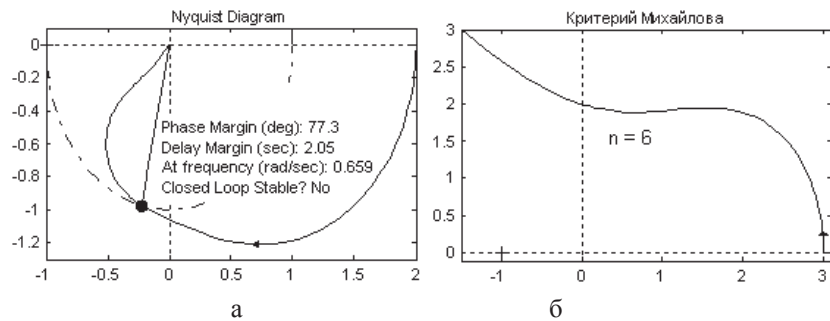


Рисунок 5

Для системы $w=tf(1,[1\ 3\ 2\ 6\ 4\ 5\ 2])$ с тем же характеристическим полиномом в замкнутом состоянии маркеры и оценки устойчивости системы не выводятся вообще без каких-либо сообщений об ошибке, но так же программа поступает и в том случае, когда запасы устойчивости равны 100 % – что же прикажете думать пользователю?

По корням видно, что замкнутая система неустойчива (есть комплексная сопряженная пара полюсов $0.5109 \pm j1.1043$ с положительной вещественной частью), однако из АФЧХ разомкнутой системы это отнюдь не следует, годограф не охватывает точку с координатами $(-1, j0)$.

```
>> w=tf(2,[1 3 2 6 4 5 1]); % разомкнутая система
>> [num,den]=tfdata(w,'v');
>> roots(num+den) % полюсы замкнутой системы
ans =
-2.9137
0.5109 + 1.1043i
0.5109 - 1.1043i
-0.2378 + 1.0212i
-0.2378 - 1.0212i
-0.6325
```

Кривая Михайлова (рисунок 5, б) в этом отношении предпочтительнее – она правильно указывает на неустойчивость замкнутой системы, т. к. при порядке системы $n = 6$ годограф проходит лишь два квадранта комплексной плоскости, уходя далее в бесконечность.

Оценим устойчивость этой же системы после замыкания, построив график с помощью функции margin() – заведомо неустойчивая система характеризуется бесконечным запасом устойчивости по амплитуде и 77,3 градуса по фазе (рисунок 6).

```
>> w=tf(2,[1 3 2 6 4 5 1]); % разомкнутая система
>> margin(w)
```

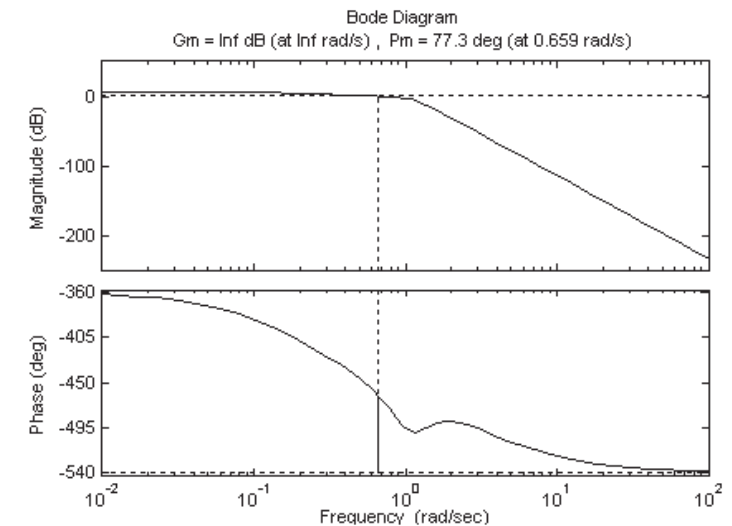


Рисунок 6

Вызывает недоумение и характеристика колебательного звена с ПФ $w=tf(1,[1\ 0\ 2])$ (рисунок 7), масштабированная по точке $(-1, j0)$.

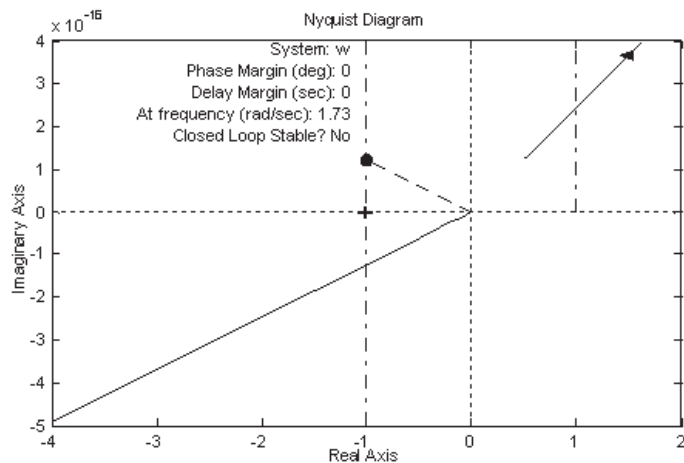


Рисунок 7

АФЧХ должна начинаться в точке 0,5 на положительной действительной полуоси и, не отклоняясь от нее, уходить в плюс бесконечность, а затем, после частоты разрыва 1.412 рад/с, проходить из минус бесконечности по отрицательной действительной полуоси в начало координат. При таком отклонении от оси, как показано на рисунке, система должна иметь ненулевой запас устойчивости по амплитуде и фазе. Запас по фазе почему-то показан в стороне от характеристики, а должен определяться в точке пересечения с ней. Функция `margin()` возвращает для данного случая запас $G_m = \text{Inf}$ дБ, хотя о каком запасе может идти речь у системы на колебательной границе устойчивости?

Посвятим несколько слов оценке устойчивости системы с передаточной функцией $W(s) = s / (s^3 + 2s^2 + 3s)$. Хотя по графикам Bode, Nyquist, Nichols она сверхустойчива после замыкания, никаких выводов по устойчивости графики не делают и показ запасов устойчивости (опции All/Minimum Stability Margins) не осуществляют. График функции `margin()` дает бесконечные запасы $G_m = \text{Inf}$, $P_m = \text{Inf}$, однако в численном выводе этой же функции указывается, что замкнутая система неустойчива, т. е. в разных формах представления данных функция противоречит сама себе. Фактически замкнутая система устойчива, поскольку переходный процесс устанавливается со значением 0.25, но нормальных выводов от MATLAB мы не получаем.

Сложно пользоваться значениями запасов устойчивости, если вывод программы противоречит представляемым характеристикам и способам определения показателей, изложенным в учебной литературе, а для систем со 100 % запасами устойчивости значения запасов вообще не отображаются.

Поскольку сама программа MATLAB не пользуется для оценки критерием Найквиста или диаграммой Боде, а проверяет устойчивость иным способом, напрашивается вывод, что для SS, TF и ZPK моделей критерий Найквиста имеет ограниченное применение лишь для расчета запасов устойчивости, причем нужно внимательно следить за общим заключением об устойчивости системы, если оно выводится, чтобы не прийти к ошибочным результатам. В то же время для FRD-модели это единственный способ оценить устойчивость системы после замыкания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Бороденко, В. А.** Исследование систем управления в среде MATLAB. – Павлодар, Кереку, 2010. – 319 с.
- 2 Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Изд. 4-е, перераб. И доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 10.09.14.

В. А. Бороденко

MATLAB басқару жүйесінің тұрақтылығын бағалау жайлы

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 10.09.14 баспаға түсті.

V. Borodenko

About an estimation of stability of control systems in MATLAB

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 10.09.14.

Автоматты басқару теориясының стандартты курсына оқу кезінде MATLAB бағдарламасын қолданудың бірқатар мәселелері зерттеледі.

Some problems of use of program MATLAB are investigated at studying a standard course of the control system theory.

В. А. Бороденко

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В MATLAB

Рассматриваются особенности аналитического представления переходных процессов при изучении систем управления.

Программная среда MATLAB предоставляет широкие возможности для исследования систем управления во временной области [1]. Рассмотрим имеющиеся в ней способы аналитического представления временных характеристик.

Реакцию системы в аналитическом виде (оригинал) по ее изображению Лапласа можно найти с помощью функции `residue()`, задав полиномы числителя *num* и знаменателя *den* рациональной дроби изображения самостоятельно, либо получив их из модели. Функция `[r,p,k]=residue(num,den)` выводит значения вычетов в полюсах (коэффициентов числителей), полюсов и свободной части разложения на простые дроби. Вычеты (элементы вектора **r**) печатаются в том же порядке, в каком выводятся полюса (вектор **p**) – первый сверху вычет соответствует первому полюсу, т.е. корню характеристического уравнения, и т.п. Пользуясь таблицей соответствий оригиналов и их изображений по Лапласу, можно составить оригинал для действительного полюса λ с вычетом α

$$\frac{\pm \alpha}{\pm \lambda} \div \pm \alpha * \exp(\pm \lambda * t),$$

и для комплексной пары полюсов и вычетов (здесь α, β – действительная и мнимая части вычета, λ, ω – аналогичные части полюса)

$$\frac{\pm \alpha \pm j\beta}{\pm \lambda \pm j\omega} \div 2 * \exp(\pm \lambda * t) * (\pm \alpha * \cos(\omega * t) \mp \beta * \sin(\omega * t)).$$

Плюс перед β справа записывается при несовпадении знака мнимой части у соответствующих друг другу вычета и полюса.

Коэффициенты для кратных полюсов выводятся в порядке возрастания кратности, т. е. сначала коэффициент и полюс в степени 1, затем в степени 2 и так до максимальной степени корня. В качестве примера найдем коэффициенты разложения для функции $5/(s+1)^3$.

```
>> [r,p,k]=residue(5,[1 3 3 1])
r =          % вычеты
    0
    0
    5
p =          % полюса
 -1.0000
 -1.0000
 -1.0000
k =          % свободная часть
    []
```

Напомним, что оригинал подобного разложения должен быть записан по таблице соответствия в виде $0 \cdot e^{-t} + 0 \cdot t \cdot e^{-t} + 5/2 \cdot t^2 \cdot e^{-t}$.

Обращение `[num, den]=residue(r, p, k)` позволяет восстановить по разложению на простые дроби вид изображения, например, проверить правильность вычисления коэффициентов числителей простых дробей, если они выполнялись не в среде MATLAB. Отсутствующее значение **k** должно вводиться при этом в виде пустой матрицы. Заметим, что элемент вектора **k** будет ненулевым только при равенстве степеней полиномов числителя и знаменателя изображения.

Имея аналитическую запись оригинала, можно рассчитать и построить временную характеристику, например, организовав цикл типа FOR ... END в интервале времени от 0 до $t_{\text{уст}}$ для заданного количества точек (время $t_{\text{уст}}$ удобно взять из переходной характеристики, либо из столбца **p** по формуле $10/\min|Re(p)|$). Длинную формулу можно продолжить на другой строке, прервав знаком многоточия. Отметим, что вместо матричного умножения используется поэлементное перемножение массивов, обозначаемое точкой перед знаком умножения.

В качестве примера найдем оригинал передаточной функции с помощью разложения на простые дроби и обратного преобразования Лапласа. Коэффициенты числителей и корни знаменателей разложения на простые дроби находим, определив числитель *num* и знаменатель *den* передаточной функции

```
>> v=[-0.3 -1+i -1-i -2+0.5i -2-0.5i];
>> q=zpk([],v,3);          % описание системы корнями ZPK
>> [num,den]=tfdata(q,'v'); % числитель и знаменатель
>> [r,p,k]=residue(num,den) % разложение на простые дроби
r =
 -0.6056 + 0.5821i
 -0.6056 - 0.5821i
```



```

0.2850 + 0.5390i
0.2850 - 0.5390i
0.6412
p =
-2.0000 + 0.5000i
-2.0000 - 0.5000i
-1.0000 + 1.0000i
-1.0000 - 1.0000i
-0.3000
k =
[]

```

Расчет значений оригинала в интервале 0-туст (25 с) с шагом 0,1 с и построение графика для двух пар комплексных сопряженных полюсов и одного действительного полюса

```

>> t=0:0.1:25;
>> y = .6412*exp(-.3*t)+...
2*exp(-2*t).*(-.6056*cos(.5*t)-.5821*sin(.5*t))+...
2*exp(-1*t).*(.285*cos(1*t)-.539*sin(1*t))
>> plot(t,y), grid, title 'Оригинал передаточной функции'

```

Оригиналом передаточной функции является импульсная функция, поэтому полученная характеристика (рисунок 1) по виду и числовым значениям должна совпадать с импульсной.

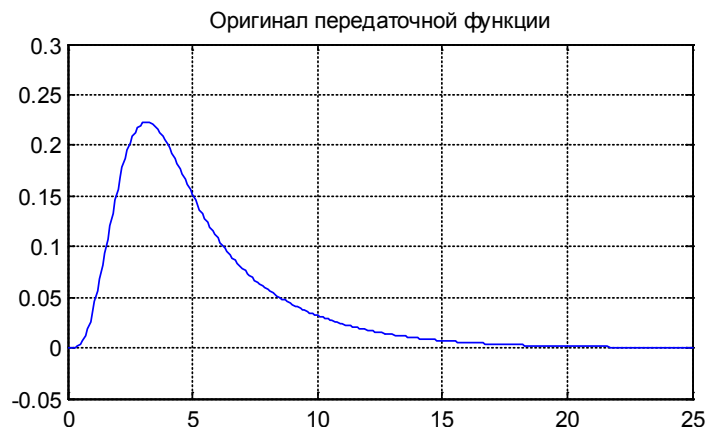


Рисунок 1

Разработана новая функция $w = \text{resp}(\text{sys}, \text{time})$, использующая разложение на простые дроби. Аргументами функции являются SISO объект sys и длительность моделирования time , возвращает эта функция изображения (передаточные функции) для каждой составляющей оригинала изображения sys и графики отдельных составляющих и их суммы.

```

function [w] = resp(sys, time)
% Построение составляющих оригинала ПФ SYS за время time

```

```

[num, den]=tfdata(sys, 'v');
[r,p,k]=residue(num,den);
id=0;
for ik=1:length(r)
    if imag(p(ik))>0 % комплексный корень
        [num,den]=residue([r(ik) r(ik)'],[p(ik) p(ik)'],[]);
        id=id+1; w(id)=tf(num,den);
    end
    if isreal(p(ik)) % действительный корень
        id=id+1; w(id)=tf(r(ik), [1 -p(ik)]);
    end
end
clf, hold on
impulse(sys, '.', time); % общий график
for ik=1:id
    impulse(w(ik), 'k', time); % отдельные составляющие
end
title 'Составляющие оригинала'
hold off

end

```

Выведем изображения отдельных составляющих и их графики (рисунок 2) с помощью функции $\text{resp}()$ за период 10 с, нумерация изображений и графиков их оригиналов совпадает. Каждой паре комплексных сопряженных полюсов и каждому действительному полюсу соответствует одно изображение в том же порядке, в каком они представлены функцией $\text{residue}()$, вывод изображений (функций передачи) блокируется точкой с запятой.

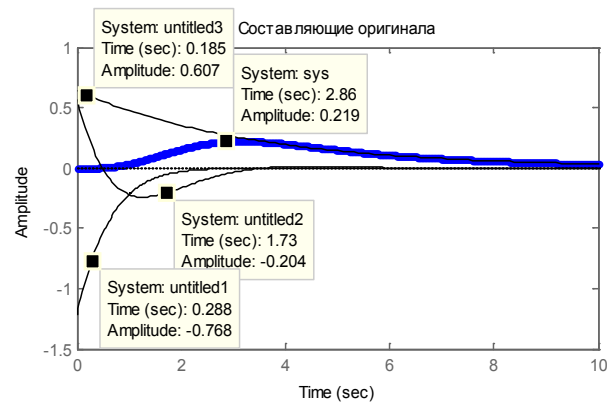


Рисунок 2

Обращение к функции

```
>> resp(sys,10)
Transfer function from input 1 to output:
-1.211 s - 3.004
-----
s^2 + 4 s + 4.25

Transfer function from input 2 to output:
0.57 s - 0.508
-----
s^2 + 2 s + 2

Transfer function from input 3 to output:
0.6412
-----
s + 0.3
```

Теперь аналитическое выражение, например, для второй составляющей, можно получить непосредственно в MATLAB, применяя обратное преобразование Лапласа `ilaplace()`, и построить график функцией `ezplot(y,t)`, где y – исследуемая функция (рисунок 3).

```
>> syms s t
>> w=(0.57*s-0.508)/(s^2+2*s+2); t=0:0.01:10;
>> y=ilaplace(w)
```

```
y =
(57*(cos(t) - (539*sin(t))/285))/(100*exp(t))
>> ezplot(y,t)
```

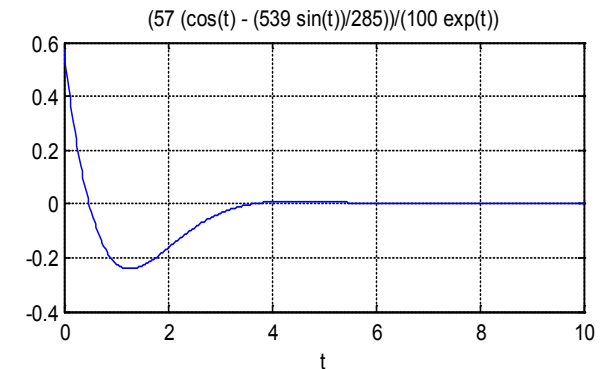


Рисунок 3

Таким образом, для каждой составляющей переходного процесса мы получили аналитическое выражение и возможность построения отдельного графика.

Рассмотрим особенности использования для аналитических расчетов раздела символьной математики, имеющегося в MATLAB. Символьные переменные должны быть объявлены явно, если при вызове исследуемая функция не взята в апострофы. Объявление производится оператором `syms`.

При преобразовании Лапласа выражение выводится с коэффициентами, представленными в виде рациональных дробей. Построенный функцией `ezplot()` график полностью совпадает с импульсной характеристикой от этого же изображения. Еще один пример.

```
>> syms s t
>> q=1/(s^3+6*s^2+11*s+6); temp=ilaplace(q)
temp =
1/(2*exp(t)) - 1/exp(2*t) + 1/(2*exp(3*t))
```

Возвращаемый MATLAB версии 7.11 результат обратного преобразования Лапласа неудовлетворителен с точки зрения учебного процесса (отрицательные полюсы представлены положительными числами, экспонента находится в знаменателе). Более привычным и понятным для студентов был результат в более ранних версиях, например, версии 7.01, совпадающий с описанием экспоненциальной функции в ТФ и ЗПК моделях.

```
temp =
-exp(-2*t)+1/2*exp(-3*t)+1/2*exp(-t)
```

В версии 8.1 MATLAB снова вернулись к нормальному способу описания функций.

Функция $\text{dirac}(t)$ в символической математике соответствует единичному импульсу (дельта-функции), а $\text{heaviside}(t)$ – единичному скачку. Они функционируют как при прямом, так и при обратном преобразовании Лапласа.

```
>> syms s t
>> q=heaviside(t)+2*exp(-3*t);
>> laplace(q)
ans =
1/s+2/(s+3)
>> w=(3*s^2+2*s+1)/(s^2+2*s+2);
>> temp=ilaplace(w) % обратное преобразование Лапласа
temp =
3*dirac(t) - (4*(cos(t) + sin(t)/4))/exp(t)
>> simplify(laplace(temp)) % прямое преобразование Лапласа
ans =
3 - (4*s + 5)/(s^2 + 2*s + 2)
```

Принцип построения TF модели нарушен и для использования подобного результата в традиционном виде передаточной функции (числитель-знаменатель) придется выполнить преобразования

```
>> ww=tf([4 5],[1 2 2]); sys=3-ww
```

Transfer function:

```
3 s^2 + 2 s + 1
-----
s^2 + 2 s + 2
```

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Бороденко, В. А.** Исследование систем управления в среде MATLAB [Текст] / В.А. Бороденко. – Павлодар : Кереку, 2011. – 318 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 12.09.14.

В. А. Бороденко

MATLAB үдерісіне ауысуының талдау көрінісі

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 12.09.14 баспаға түсті.

V. Borodenko

Analytical representation of a transient in MATLAB

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 12.09.14.

*Проблемаларды қарастырған оқу үдерісінде бағдарламалық
өнімде қолдануға қиналуы.*

*The problems of an analytical representation of transients are
considered at the studying of the control systems.*

УДК 681.5.017

Т. В. Гоненко*, В. Ф. Хацевский, К. В. Гоненко***

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВОК АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

*В статье рассматриваются общие принципы построения
модульных установок пожаротушения и особенности их применения,
в том числе беспроводных систем. Это позволит сделать выбор
системы автоматического пожаротушения более обоснованным.*

С каждым годом вопросы повышения пожарной безопасности и оснащения современными системами пожаротушения промышленных и жилых объектов становятся более актуальными. Возрастает количество используемой техники на объектах, значительная часть которой находится в длительной эксплуатации. Это ведет к повышению вероятности возникновения пожара. Перед монтажными организациями и собственниками стоит сложный вопрос выбора оптимальной системы пожаротушения.

Необходимость оснащения объекта установками автоматического пожаротушения регламентируется нормативными документами. К системам автоматического пожаротушения предъявляются следующие требования:

- эффективность пожаротушения;
- отработка алгоритма тушения в соответствии с нормами пожарной безопасности;
- круглосуточная готовность к применению;
- сохранение человеческой жизни и материальных ценностей.

Для того чтобы выбор системы пожаротушения был действительно оптимальным, необходимо учитывать, что многие системы автоматического пожаротушения (САП) на ряде объектов имеют серьезные ограничения по применению.

Самым распространенными системами пожаротушения являются системы, в которых в качестве огнетушащего вещества используется вода, что обусловлено следующими ее особенностями:

- вода обладает уникальными физико-химическими свойствами, что обеспечивает высокую огнетушащую эффективность пожаротушения;
- для воды, являющейся основой процессов жизнедеятельности человека, существуют надежные средства доставки;
- стоимость воды относительно низкая, а запасы ее на Земле практически неисчерпаемы;
- вода безопасна для людей.

В тех случаях, когда особенности объекта не накладывают никаких существенных ограничений и в защищаемых помещениях не хранятся дорогостоящие материальные ценности, обычно используют водяные системы пожаротушения.

Однако на практике часто встречаются объекты, особенности которых полностью исключают либо в значительной мере затрудняют применение спринклерных и дренчерных систем пожаротушения. Наиболее существенными особенностями являются:

- отсутствие или недостаточная величина водоподачи для системы пожаротушения;
- невозможность размещения водяного резервуара;
- недостаточная прочность перекрытий здания и невозможность осуществлять дренаж;
- недостаточная величина давления в системе водоснабжения и невозможность установки насосов, повышающих давление;
- отсутствие необходимых мощностей по энергоснабжению;
- наличие на защищаемом объекте материальных ценностей, которые могут быть приведены в негодность в случае применения для пожаротушения большого количества воды;
- низкая температура в защищаемом помещении.

Отметим также и недостатки систем пожаротушения, применяющих в качестве огнетушащего вещества воду. Основой недостаток – низкая

эффективность использования огнетушащего вещества, в результате чего проливаемое при тушении избыточное количество воды наносит дополнительный материальный ущерб объекту. Стационарные спринклерные, дренчерные системы, а также пожарные стволы потребляют большое количество воды (более $0,08 \text{ л} \cdot \text{м}^2/\text{с}$); требуется обеспечить нормативные характеристики по водоподаче или использовать емкости и резервуары. Обычное распыление с диаметром капель от 0,4–2 мм вызывает пролив, по характеру близкий к затоплению одного или нескольких помещений. Часто ущерб, наносимый средствами тушения пожаров (а именно водой), бывает больше урона, причиненного самим пожаром.

В настоящее время все большее применение находит метод тушения тонкораспыленной водой (ТРВ). Технология тушения ТРВ известна с 1950-х гг., а сами системы на территории РФ начали внедряться с начала 1990-х гг. Рассматривая механизм тушения ТРВ, можно выделить 3 фактора, обеспечивающих высокую эффективность процесса пожаротушения ТРВ. Во-первых, тонкораспыленная вода представляет собой совокупность мелких капель, средний диаметр которых составляет менее 150 мкм. При этом суммарная поверхность капель гораздо больше, чем при традиционных методах тушения. Увеличивается и суммарная площадь испарения мелких капель, и скорость их испарения, что в свою очередь обеспечивает интенсивный теплоотвод из зоны горения. Во-вторых, происходит быстрое испарение водяного пара и вытеснение кислорода из зоны горения.

Системы пожаротушения ТРВ являются одними из самых перспективных. Это обусловлено их преимуществами:

- высокая огнетушащая эффективность при минимальном расходе воды, который составляет порядка 1–1,5 л/м²;
- автономность установки (система не требует подведения каких-либо коммуникаций и источников энергии);
- высокая способность ТРВ захватывать и осаживать частицы дыма, что существенно снижает необходимость использования систем дымоудаления;
- химическая нейтральность по отношению к защищаемым материалам;
- универсальность по отношению к защищаемым объектам и материалам;
- экологическая чистота и безвредность для человека;
- экономическая эффективность;
- простота монтажа и эксплуатации.

Применение модульных установок пожаротушения ТРВ для защиты объектов позволяет оптимальным образом защитить объект, а в ряде случаев является единственно приемлемым вариантом там, где материальные ценности нельзя тушить большим количеством воды. Особенно важен этот аргумент при защите архивов, музеев, складов с электронным оборудованием, объектов с дорогостоящими интерьерными и т.п.

За период эксплуатации установок пожаротушения ТРВ были проведены многочисленные натурные огневые испытания. Это позволило более глубоко исследовать процессы, протекающие при пожаротушении ТРВ на объектах различного назначения в разнообразных пространственных и температурных условиях. Проведенные натурные огневые испытания показывают высокую эффективность применения установок ТРВ для тушения пожаров классов А и Б. Накоплен опыт успешных испытаний по тушению электрооборудования, находящегося под напряжением до 1000 В с применением ТРВ. В настоящее время проводятся исследования возможностей применения ТРВ для тушения электрооборудования при более высоких напряжениях.

Общим местом для всех систем автоматического пожаротушения является наличие некоторого первичного преобразователя одного или нескольких контролируемых факторов пожара в сигнал управления определенного вида. Как правило, эту функцию выполняет пожарный извещатель (ПИ), способный реагировать на изменение параметров температуры, задымленности и прочих факторов. По организованным, т.е. контролируемым, линиям связи сигнал от ПИ поступает на прибор приемно-контрольный пожарный (ППКП). Последний отображает информацию о срабатывании и определяет зону размещения или персональный адрес ПИ, сообщившего о превышении критических значений. Так определяется место возникновения очага. Далее ППКП формирует новый сигнал – на управление технологическим оборудованием и системой пожаротушения. И именно этот управляющий импульс воспринимается пожарным прибором управления (ППУ), который, в свою очередь, и включает задвижки, пиропатроны или иные исполнительные устройства.

Главная проблема состоит не в аппаратной реализации АУПТ, а в грамотной разработке алгоритма взаимодействия всех компонентов в случае пожара. Инженер проектной организации должен решать целый комплекс вопросов по построению системы противопожарной защиты, и сигнал о пожаре – не более чем просто исходные данные. Эти данные требуется каким-то образом использовать для управления другими подсистемами: дымоудаления, вентиляции, пожаротушения, эвакуации и т.д.

Очевидно, что предусмотреть и формализовать все варианты развития событий невозможно. Да, и чисто технически организовать проводную сеть взаимодействия таким образом, чтобы при срабатывании любых пожарных извещателей формировались соответствующие управляющие воздействия, можно только теоретически. А на практике, не имея возможности динамического анализа изменений контролируемых параметров среды (т.е. обратной связи), принять верное решение просто нереально. Даже в случае предварительного математического моделирования пожара и выработки конкретного алгоритма взаимодействия подсистем безопасности высока вероятность ошибки. А ошибка в ситуации пожара практически всегда становится фатальной.

Базовым свойством беспроводных систем можно считать то, что сигналы общающихся между собой устройств присутствуют в эфире повсеместно и не ограничены токопроводящими проводами контроля и управления. Именно этим свойством обусловлено главное преимущество такого рода систем – возможность создания единого информационного пространства взаимодействия компонентов. Однако эта уникальная особенность беспроводных технологий в данный момент практически не используется в автоматических системах пожаротушения.

Признание и внедрение беспроводных устройств в этой области происходит очень медленно, хотя у кабельных линий в системах пожарной безопасности существует ряд недостатков, которые можно условно разбить на несколько общих групп:

- растущая сложность проектных решений, способствующая увеличению числа соединений и общей длины силовых и сигнальных линий связи;
- наличие наведенных помех на длинных проводных линиях и связанные с этим сбои в работе систем безопасности;
- рост стоимости кабельной продукции, обоснованный не только повышением цены на медь, но и появлением абсолютно законных требований по устойчивости кабеля к воздействию опасных факторов пожара (ОФП);
- повышение требований к квалификации специалистов монтажных и проектных организаций, продиктованное усложнением аппаратуры управления и расширением ее функциональных возможностей.

В то же время, бурное развитие технологий постепенно повышает надежность передачи информации и обеспечивает ее достоверность. Можно с уверенностью сказать, что современные средства беспроводной коммуникации обеспечивают уровень управления ничуть не ниже проводных систем.

Но основной проблемой по-прежнему остается жесткая логика управления АУПТ, формируемая на основании прогноза возникновения и развития пожара.

Сам же пожар представляет собой явление многофакторное. Возникая и распространяясь по известным законам, первоначальное возгорание может предложить бесконечное множество вариантов дальнейшего развития событий, предусмотреть которые просто невозможно. Современная пожарная наука оперирует огромными массивами данных, пытаясь повысить достоверность прогноза возникновения и развития пожара. Именно эта информация помогает определить необходимое воздействие в каждом конкретном случае. Но, чем больше исследований проводится, тем большим числом результатов приходится оперировать.

Сегодня можно со стопроцентной уверенностью сказать, что такие сложные задачи не решить без единого информационного поля взаимодействия, создавать которое позволяют лишь беспроводные системы передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Автоматизация технологических процессов. [Электронный ресурс]. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Автоматизация технологических процессов](http://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматизация_технологических_процессов). Режим доступа – свободный.

2 **Мацук, А. М.** Беспроводные технологии в современных системах автоматического пожаротушения [Текст]: научное издание / А. М. Мацук, // Безопасность. – 2010. – №2. – С. 2-4.

3 **Павлов, А. П., Радошнов, Ю. Н.** Обоснование выбора оборудования. Модульные установки пожаротушения тонкораспыленной водой [Текст]: научное издание / П. Павлов, Ю.Н. Радошнов // Пожарная безопасность. – 2010. – №4. – С. 4-5.

*Омский государственный технический университет, г. Омск;

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

Материал поступил в редакцию 12.09.14.

T. V. Gonenko*, V. F. Khatsevskiy**, K. V. Gonenko*

Автоматтық өрт-сөндіруге арналып қойылатын жабдық

*Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ.;

**С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 12.09.14 баспаға түсті.

T. Gonenko*, V. Khatsevskiy**, K. Gonenko*

Choice of the equipments for the automatic fire extinguishing installations

*Omsk State Technical University.

**S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 12.09.14.

Қарастырылған жұмыста модульдық қондырғылардың өрт – сөндіру ерекшелігі және жалпы принциптердің құру және оның ішінде сымсыз жүйелер енгізілген. Осы мәліметтер таңдау себебін шешкенде автоматтық өрт – сөндіру жүйелерді таңдау жұмыстарды жеңілдетеді.

Within this article the general principles of creation of the modular installations of fire extinguishing and the features of their application, including wireless systems are considered. It will allow to make a choice of system of automatic fire extinguishing more reasonable.

УДК 681.5.

К. С. Глокк

АВТОМАТИЗАЦИЯ МАЗУТНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрен способ повышения эффективности управления мазутным комплексом. Выявлены пути оптимизации управления комплексом и предложены технические решения по его автоматизации.

Разгрузка нефтепродуктов из железнодорожных цистерн является с одной стороны сложным, энергозатратным и трудоемким процессом, с другой стороны этот процесс оказывает вредное воздействие на окружающую среду за счет испарений, разлива, загрязнения сточных вод и территории нефтебаз [1].

Создание и внедрение эффективных автоматизированных систем управления процессами перевалки высоковязких нефтепродуктов, обеспечивающих необходимую надёжность функционирования и оперативность управления, являются актуальной задачей.

Основными технологическими элементами мазутного комплекса (рисунок 1) являются: железнодорожная эстакада, насосная станция, теплообменники, котельная, резервуарный парк, наливное устройство танкера.

Оборудование мазутного комплекса обеспечивает: разогрев, извлечение из железнодорожных цистерн, фильтрацию, перекачку, подачу потребителю и поддержание температуры хранения мазута в резервуарном парке.

В процессе разогрева и слива продукт циркулирует в следующей последовательности: расходная ёмкость – циркуляционный насос – теплообменный аппарат – вагон-цистерна – расходная ёмкость. Следовательно, разогретый продукт, прошедший через теплообменный аппарат передаёт температуру основной массе продукта в цистерне. Часть разогретого продукта в цистерне разжижается и сливается в расходную ёмкость, а часть продолжает разогреваться. Продукт, который откачивается в расходную ёмкость, при помощи циркуляционного насоса вновь подаётся на циркуляцию по вышеописанному циклу. Поскольку в ходе данного процесса разогретого продукта (а значит имеющего жидкую консистенцию) становится больше, то часть продукта из расходной ёмкости при помощи откачивающего насоса поступает в продуктовый коллектор.

Температура, при которой осуществляется разогрев и слив продукта зависит от следующих параметров:

– вязкость продукта (при одной и той же температуре вязкость различных марок нефтепродуктов неодинаковая) [3];

– температура окружающей среды (что так же влияет на вязкость сливаемого продукта) [3].

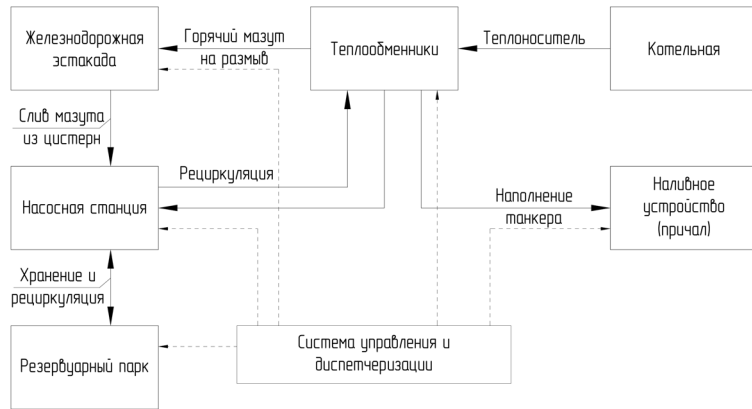


Рисунок 1 – Структура мазутного комплекса

Управление мазутным комплексом [2] осуществляется в соответствии со следующим алгоритмом (рисунок 2).

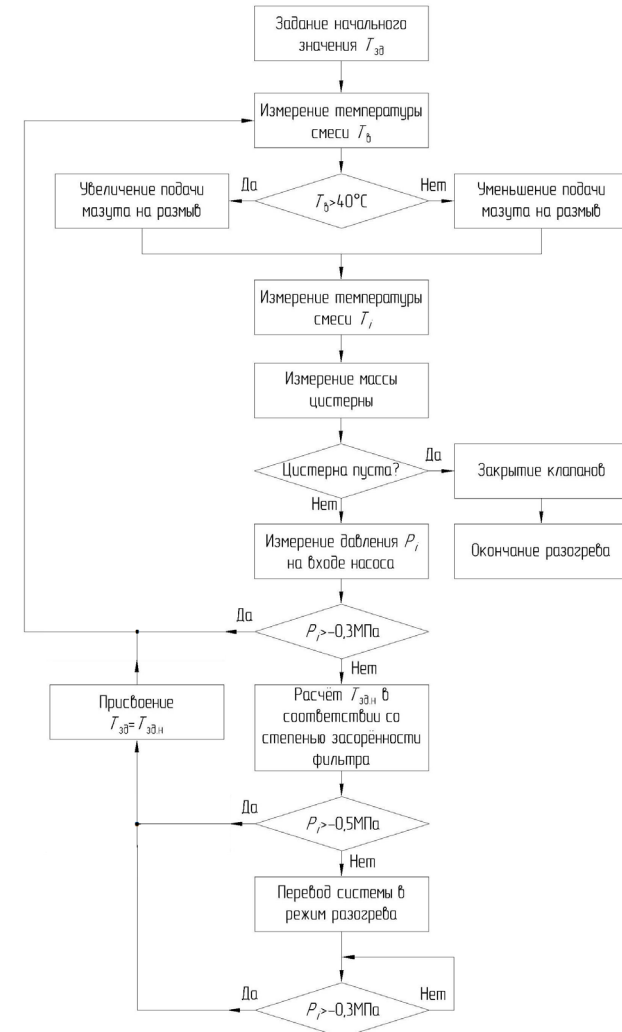


Рисунок 2 – Алгоритм управления

При подходе железнодорожной цистерны она подключается к сливному трубопроводу. Технологические трубопроводы заполняются мазутом, и запускается система циркуляции и разогрева. Разогретый продукт циркулирует по описанному выше циклу: расходная ёмкость – циркуляционный насос – теплообменный аппарат – вагон-цистерна – расходная ёмкость.

То есть продукт, находящийся в расходной емкости забирается циркуляционным насосом и подается для разогрева в теплообменник, далее разогретый продукт поступает по напорному трубопроводу на сопла гидромонитора. Под действием давления разогретого продукта, гидромонитор вводится в открытый нижний сливной прибор цистерны, где происходит распыление горячего продукта. При контакте горячего продукта с холодным нефтепродукт разогревается и стекает в расходную емкость, откуда одна его часть снова захватывается циркуляционным насосом и подается в цистерну, а другая – посредством откачивающего насоса, отправляется в продуктовый коллектор.

Принцип работы системы управления. При подаче напряжения со шкафа управления включаются блоки питания расположенные в шкафу управления и коробке Ex, контроллер, датчики температуры и давления.

Блок аналогового ввода (размещен в коробке Ex) принимает аналоговые сигналы 4-20 мА, которые формируются датчиками температуры TE1, TE2 и давления PT, одновременно этот блок отвечает за работу воздушного клапана через реле CR.

Блок дискретного ввода (размещен в шкафу Ex) принимает сигналы от кнопок S1 и S2 отвечающих за включение/выключение насосов циркуляции и откачки.

Блок аналогового вывода (размещен в шкафу Ex) отвечает за управление клапаном регулировки пара.

Все сигналы блоков (размещенных в шкафу Ex) передаются по интерфейсу ProfiBus к контроллеру и воспринимаются программой.

Блок дискретного вывода (размещен в шкафу управления) отвечает за включение пускателей насоса циркуляции и насоса откачки. Насос откачки работает через частотный преобразователь, управляющим сигналом 4-20 мА подающим с блока аналогового вывода (размещен в шкафу управления). Величина сигнала зависит от температуры в расходной емкости.

Настройка системы управления осуществляется с помощью Scada.

Применение автоматизированного комплекса позволяет увеличить производительность на 40 %, повысить экономичность и надёжность нефтебазы.

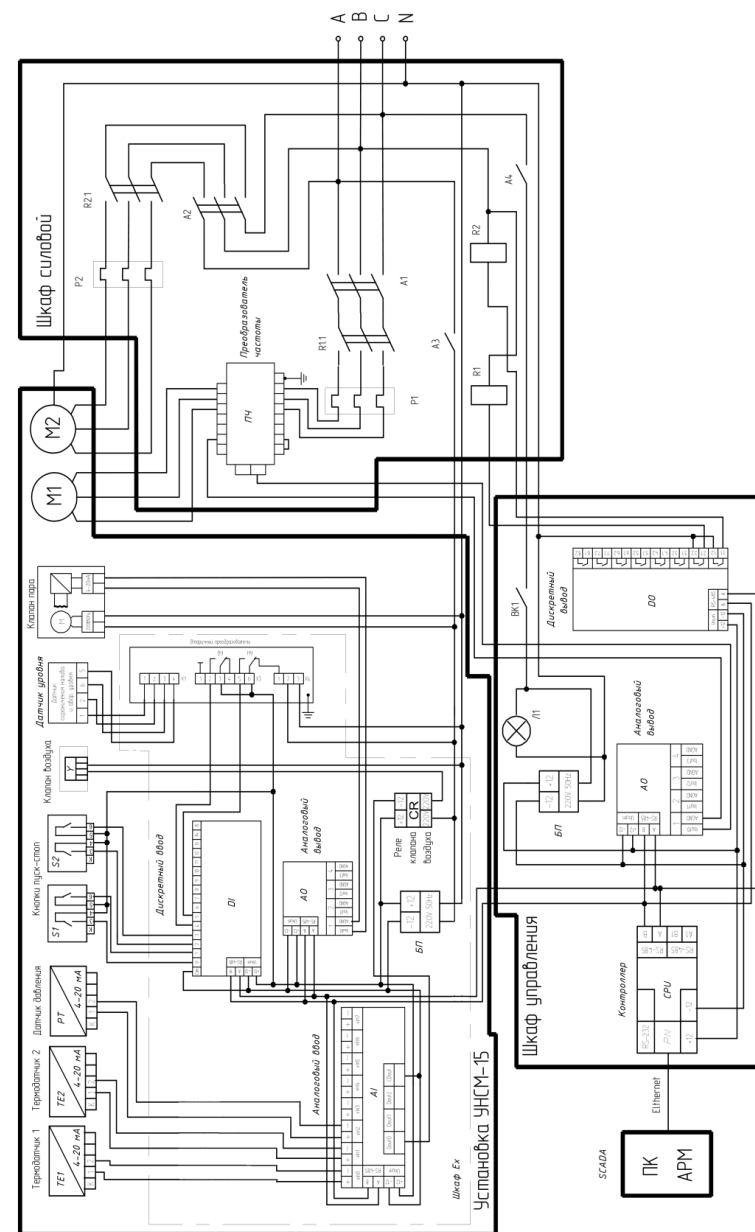


Рисунок 3 – Принципиальная схема управления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Слѣзкин, Н. А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости/ Н.А. Слезкин. Гос. изд-во тех.-теорет. литературы. – М., 1955. – 520 с.

2 Онучин, А. Л. Совершенствование автоматизации мазутного терминала/ А.Л. Онучин, С.П. Сердобинцев // Автоматизация и современные технологии. — 2009. — №9. — С. 7-10.

3 Жужиков, В. А. Фильтрование, теория и практика разделения суспензий/В.А. Жужиков. – М. : Химия, 1971. – 440 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 18.09.14.

K. S. Glokk

Мазутты кешендерді автоматтандыру

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 18.09.14 баспаға түсті.

K. S. Glokk

Automation of the fuel oil set

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 18.09.14.

Кешенді мазутты басқарудың тиімділігін арттыру әдісін қарастыру. Кешенді басқару оптимизациясын анықтау мен оны автоматтандыру бойынша техникалық шешімдері ұсынылды.

A method for improving the effectiveness of the fuel oil complex is reviewed. The ways of optimizing the management of the complex identified and technical solutions for automation offered.

УДК 621. 315.1.001.5

М. А. Джаманбаев, Н. П. Токенов

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПЛЯСКЕ ПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ КАЗАХСТАНА

В статье рассматриваются анализы пляски проводов, имевших место в ходе эксплуатации воздушных линий (ВЛ) в Казахстане. Установлена средняя продолжительность пляски и методика оценки интенсивности пляски в зависимости от различных факторов.

Как показывает опыт эксплуатации, провода линии электропередачи (ЛЭП) могут быть подвержены низкочастотным механическим колебаниям с частотой 0,2 – 1,2 Гц со значительными перемещениями (3 – 5 м и более). В некоторых случаях на крупных воздушных линиях (ВЛ) с длинными пролетами размах колебаний (двойная амплитуда) достигает 10 – 12 м. Эти колебания, характерные, как и для одиночных, так и для расщепленных проводов, вызываются при ветре и отложении на проводах гололедного осадка. На практике такого рода колебания известны под названием «пляски» проводов. Как правило, пляска характеризуется одновременными колебаниями всех проводов с несколькими полуволнами в пролете и охватывает участки ВЛ значительной длины. Провода могут колебаться длительное время (до нескольких суток), в среднем несколько часов [1]. Вследствие пляски повреждаются провода и арматуры, происходит частое отключение линий.

Интенсивное развитие строительства линий электропередачи высокого напряжения, связанное с созданием крупных энергетических систем и их объединений, делает проблему изучения пляски проводов и разработка мер борьбы с этим явлением особенно острой. Энергетические системы в настоящее время представляют собой сложные и дорогостоящие комплексы, и обеспечение достаточного уровня их надежности является важной задачей для бесперебойного снабжения народного хозяйства электроэнергией. Вопросы исследования пляски проводов являются одним из аспектов общей проблемы надежности.

Все исследовательские работы посвящены изучению явлений пляски [1,2,3,4,5]. В основном рассматриваются теоретические вопросы пляски, заключающиеся в составлении общей математической модели, позволяющей при заданных условиях определить главные характеристики колебательного процесса – интенсивности пляски [1,2]. Как известно, основным критерием для оценки возможной подверженности ВЛ пляске и ее интенсивности

служат статистические данные, обобщающие опыт эксплуатации электрических сетей. Этому направлению посвящен ряд исследований. В частности, в работе анализируются географические и климатические условия при пляске проводов, влияние конструктивного исполнения ВЛ, длительности, параметры и последствия пляски проводов ВЛ [3,4,5,6]. Однако, в основе анализа положена констатация тех или иных фактов. Как известно, возникновение пляски проводов определяется большим числом факторов, носящих случайный характер. Поэтому, для полноты исследования, целесообразно применять методы математической статистики и прикладной теории надежности [1,2,7].

Задача исследований

При разработке мер борьбы с пляской проводов и при проектировании ЛЭП необходимо учитывать информацию о продолжительности пляски, возможной интенсивности (размаха) колебаний, характерные повреждения элементов ЛЭП. Определенный интерес представляют также данные о подверженности воздушных линий (ВЛ) пляске в зависимости от физико-географических и климатических условий. Эти сведения можно получить из накопленных энергосистемами многолетних статистических данных наблюдений за пляской проводов в процессе эксплуатации ВЛ. Результаты анализа многолетних статистических данных безусловно является необходимой информацией, используемые при решении задач по повышению надежности ЛЭП в зонах, где линии подвержены пляске.

Пляска может возникать в широком диапазоне изменений температуры воздуха, от 0° до минус 16° С. Температура воздуха во время пляски в 55% случаев лежала в диапазоне от 0° до минус 5° С, 33% случаев – в диапазоне от минус 6° до минус 10° С и 12% - ниже минус 11° С.

Анализ влияния угла атаки показывает, что преобладают случай пляски проводов (51%) в интервале углов от 30° до 60°. При углах атаки от 60° до 90° число случаев пляски несколько меньше и составляет 49% [1].

Возникновение пляски и ее интенсивности тесно связаны со скоростью ветра v (м/сек). Для установления зависимости между скоростью ветра и частотой случаев пляски, исходный материал был подвергнут статистической обработке. В результате построена гистограмма и получен дифференциальный закон распределения (рисунок 1). Данные для построения гистограммы приведены в таблице 1. В таблице через V_{\perp} обозначена вертикальная составляющая скорости ветра ($V_{\perp} = V \sin \alpha$, где V - модуль скорости ветра, α - угол атаки).

Таблица 1 – Интервальный ряд распределения

ΔV_{\perp} , (м/сек)	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21
Число случаев пляски, n_i	8	9	13	11	8	3
Эмпирическая частота, P_i	0.154	0.173	0.25	0.212	0.154	0.057

Эмпирические частоты определены по формуле

$$P_i = \frac{n_i}{n} \quad (1)$$

где n – общее число наблюдений, в нашем случае $n = 52$

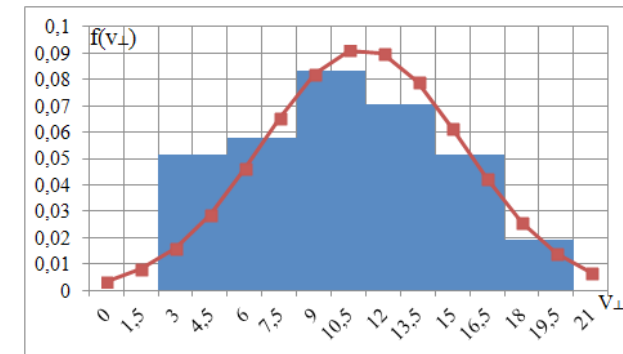


Рисунок 1 – Гистограмма и выравнивающая ее кривая

Далее по виду гистограммы подобраны аппроксимирующая кривая, характеризующая лишь существенные черты статистических данных.

Таким образом, плотности распределения можно представить следующим образом. На рисунке 1 представлена выравнивающая гистограмма аналитическая кривая, построенная по формуле (2).

$$f(V_{\perp}) = 0,092e^{-\frac{(V_{\perp}-11,1)^2}{37,67}} \quad (2)$$

Для расчета доверительного интервала определяем предельную ошибку для каждого показателя.

$$\Delta b_0 = \frac{t_{\alpha} s}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\sum_1^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2}; \quad \Delta b_1 = t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}}; \quad (3)$$

Нижняя и верхняя границы параметров уравнений регрессии

$$b_0 - \Delta b_0 \leq b_0 \leq b_0 + \Delta b_0; b_1 - \Delta b_1 \leq b_1 \leq b_1 + \Delta b_1;$$

С учетом числовыми значениями $\Delta b_0 = 0,5$ и $\Delta b_1 = 0,00033$, имеем

$$1,285 \leq b_0 \leq 2,285; 0,00077 \leq b_1 \leq 0,00143;$$

В качестве примера, на рисунке (3) приведены верхняя и нижняя границы предсказуемой интенсивности пляски для различных длин пролетов, скорости ветрового потока и число полуволн.

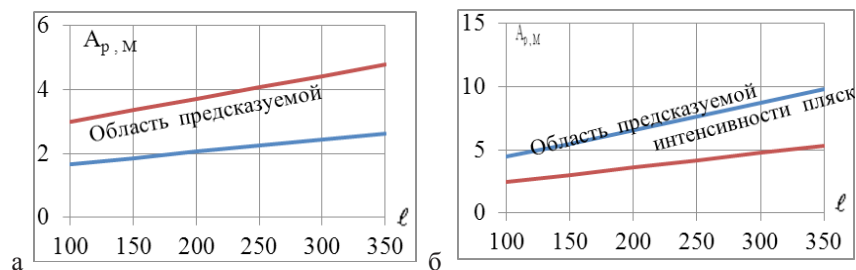


Рисунок 3 – Верхняя и нижняя границы предсказуемой интенсивности однополуволновой пляски. а) – для $V_{\perp} = 5$ м/сек ; б) - для $V_{\perp} = 15$ м/сек ;

Заключение

Пляска может возникать в широком диапазоне изменений температуры воздуха, от 0° до минус 16° С. Анализ влияния угла атаки ветрового потока показывает, что преобладают случай пляски проводов в интервале углов от 30° до 60° . Получена регрессионная модель пляски, позволяющая оценить интенсивности пляски в зависимости от скорости и угла атаки ветрового потока к линий, длины пролета и число полуволн в пролете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бекметьев, Р. М., Жакаев, А. Ш., Ширинских, Н. В. «Пляска проводов воздушных линий электропередачи» – изд. «Наука» КазССР. – Алма-Ата : – 1979. – 152 с.

2 Яковлев, Л. В. «Пляска проводов на воздушных линиях электропередачи и способы борьбы с нею». – М. : НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»: – 2002. – 101 с.

3 Джаманбаев, М. А. «Анализ случаев пляски проводов воздушных линий электропередачи» – Энергетика и топливные ресурсы Казахстана / отраслевой журнал/: – Алматы : – 2001. – № 5.

4 Djamanbayev, M. A., Vinogradov, A. A., «Observations of galloping in the northern part of Kazakhstan» – Seventh International Symposium on CABLE DYNAMICS, Vienna (Austria): – 2007 – 129 – 134 с.

5 Ловецкая, Е. Н., Савваитов, Д. С., Шкапцов, В. А. Анализ случаев пляски проводов в энергосистемах СССР в период 1982-1985 гг. – Сборник докладов советских специалистов на международном совещании по проблемам пляски проводов линий электропередачи. – Сочи : 1985. – 15 с.

6 Ланда, М. Л., Лукьяненко, Ю. Д. «Обследование и анализ гололедно –ветровых аварий на воздушных линиях электропередачи» – Электрические станции: – 1981. – №6. – 5 с.

7 Елисеева, И. И., Курьшева, С. В. и др. «Практикум по эконометрике» /учебное пособие/. – М. : «Финансы и Статистика». – 2001. – 192 с.

Казахский Национальный технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.
Материал поступил в редакцию 15.09.14.

М. А. Джаманбаев, Н. П. Токенов

Статистикалық мәліметтер бойынша Қазақстан аймақтарындағы
желілердің билеуін зерттеу

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы қ.
Материал 15.09.14 баспаға түсті.

M. A. Dzhamanbayev, N. P. Tokenov

A study of statistical material on galloping conductors in the conditions
of Kazakhstan

Kazakh National Technical University
named after K. Satpayev, Almaty.
Material received on 15.09.14.

Бұл мақалада Қазақстандағы ауа желілерін жөндеу жүргізу алаңдарында желілердің билеуін талдап қарастырамыз. Желілер билеуінің орташа ұзақтығын анықтап және әртүрлі жағдайларға байланысты билеудің қарқынды өсуін бағалау әдісімен зерттейміз.

The article considers the analyses of the conductor galloping occurring during the operation of the overhead lines in Kazakhstan. Sets the average length of the galloping and intensity of galloping evaluation technique, depending on various factors.

А. Ж. Исенова

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

*В статье рассматривается модернизация системы вентиляции
производственного помещения.*

В промышленном производстве остро стоит вопрос экономии электроэнергии. Непрерывная работа систем вентиляции в производственном помещении без надлежащих мер организации режима их работы является весьма энергоёмкой процедурой. Снижение затрат энергии возможно путём автоматизации процесса вентиляции помещений в зависимости от уровня их запыленности.

Пыль является наиболее распространенным неблагоприятным фактором производственной среды. Многие технологические процессы и операции в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве сопровождаются выделением пыли, ее воздействию могут подвергаться большие контингенты работающих. Это характерно для горнодобывающей промышленности, машиностроения, металлургии, промышленности строительных материалов, текстильной промышленности, агропромышленного комплекса и др.

Производственная пыль не только отрицательно воздействует на организм человека, но иногда и ухудшает производственную обстановку (видимость, ориентирование) в пределах рабочей зоны и одновременно приводит к быстрому разрушению трущихся частей машины. Кроме того, пыль может быть взрывоопасной, являться источником статических зарядов электричества, а также может быть переносчиком микробов.

Пыль подразделяется на органическую, неорганическую и смешанную. К органической относится пыль животного и растительного происхождения, например, хлопчатобумажная, древесная. К неорганической относится минеральная пыль, например, цементная, кварцевая, асбестовая, а также металлическая. Пыль по степени ее измельчения (дисперсности) делят на две группы: видимую, с размером частиц более 10 мкм и микроскопическую, менее 10 мкм.

Пылевидные частицы находятся в непрерывном движении в среде, в которой они взвешены. Скорость осаждения пыли из воздуха находится в зависимости от размера частиц. Крупные частицы относительно быстро осаждаются под действием силы тяжести. Более мелкие частицы пыли, преодолевая сопротивление воздушной среды, падают с меньшими

скоростями, а самые мелкие, высокодисперсные частицы могут длительное время перемещаться в воздухе. Последнее обстоятельство объясняется большим отношением общей поверхности пылинок к их объему и массе.

Частицы пыли заряжаются электричеством, величина их заряда определяется химическим составом вещества. Неметаллическая пыль заряжается положительно, а металлическая – отрицательно. Разноименно заряженные частицы притягиваются друг к другу, слипаются, коагулируют, увеличиваются в размерах и оседают быстрее других частиц. При одноименных зарядах происходит отталкивание частиц, и их коагуляция затрудняется.

Характер и эффективность действия пыли зависит от ее заряда. Известно, что заряженные частицы дольше задерживаются в легких, чем нейтральные, поэтому при прочих равных условиях они более опасны для организма. Вредность воздействия пыли также связана с растворимостью, твердостью, формой пылинок.

По вредности пыли могут быть инертными и агрессивными. Инертная пыль (сажа, сахарная пыль и др.) состоит из веществ, не оказывающих токсического воздействия на организм человека. Агрессивная пыль (пыли свинца, мышьяка и др.) обладают токсическими свойствами. Работа в запыленной среде с течением времени может привести к профессиональным заболеваниям. Твердые пылинки с острыми краями могут вызвать травмы глаз и т.д.

При проектировании помещений для вентиляционного оборудования общественных, административно-бытовых и производственных зданиях следует соблюдать требования СНиП 31-03-2001 [1].

Компоновку вентиляционных систем и размещение вентиляционных камер следует выполнять в соответствии со следующими требованиями: приточные камеры должны располагаться с учетом забора воздуха из незагрязненных зон, не ниже 2 м от земли; приточные системы рекомендуется располагать в нижних этажах здания, вытяжные – в верхних. При установке теплоутилизаторов допускается приточные и вытяжные вентиляционные камеры располагать в смежных помещениях согласно СНиП 2.08.02-89 [2].

Необходимо модернизировать существующие системы вентиляции производственных помещений. Для автоматизации системы вентиляции может быть использован датчик запыленности воздуха ДЗВ-500. Датчик ДЗВ-500 является стационарным автоматическим прибором для непрерывного контроля содержания взвешенной пыли в атмосфере и предназначен для эксплуатации на шахтах, опасных по взрыву метана и угольной пыли.

Кроме того, датчик ДЗВ-500 осуществляет следующие функции: передача диспетчеру непрерывного унифицированного сигнала о запыленности атмосферы; выдача светового сигнала о достижении

величины уставки показаний запыленности атмосферы; выдача сигнала на автоматическое отключение (включение) исполнительного устройства.

Таблица 1 – Технические характеристики ДЗВ-500

Диапазон измерения содержания пыли, мг/м ³	от 10 до 500
Основная относительная погрешность, %, не более	20
Индикация показаний	цифровая
Потребляемая мощность, Вт, не более	2.2

Существует два типа автоматических пылеизмерительных приборов и систем: автоматические пылеотборники и автоматические пылемеры. Последние измеряют запыленность воздуха как без выделения фазы из среды (электрические и оптические), так и с выделением ее на какую-либо подложку (радиоизотопные и оптические). Работа этих приборов основана на косвенных методах изучения воздуха. Преимущества заключаются в непрерывном измерении уровня запыленности, определении пиковых и средних за смену (неделю) концентраций. Весьма перспективна разработка автоматических систем с дистанционной передачей информации на диспетчерский пункт и автоматическим управлением режимами работы средств борьбы с пылью.

Индивидуальные пылеотборники представляют собой приборы для оценки пылевой нагрузки (ПН). Достоинствами этих приборов является возможность оценить среднесменные значения уровней запыленности воздуха, вдыхаемого работниками, и ПН за смену. К недостаткам относятся невозможность произвести замеры пиковых и истинных концентраций пыли на рабочих местах и у источников пылеобразования, а также дополнительная физическая нагрузка на работника (наличие у него прибора). Возможность установления критериев вредности по ПН позволяет индивидуальным пылеотборникам занять место в системе пылевого контроля наряду с автоматическими пылемерами.

В случае превышения среднесменной ПДК фиброгенной пыли расчет ПН обязателен. ПН на органы дыхания рабочего – это реальная или прогностическая величина суммарной экспозиционной дозы пыли, которую работник вдыхает за весь период фактического или предполагаемого профессионального контакта с фактором. В СанПиН 2.2.4.548–96 приведены известные методики расчета ПН.[3]

Выводы:

1. Автоматизация процесса вентиляции запыленного производственного помещения позволяет обеспечить стабильно допустимый уровень ПДК ПН.
2. Датчик ДЗВ-500 может быть использован в автоматической системе вентиляции помещения.

3. Автоматизация и проектирование системы вентиляции должно полностью соответствовать требованиям СНиП, регламентирующих основные нормы и требования к её реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 СНиП 31-03-2001 «Производственные здания» [1, 2 с].
- 2 СНиП 2.08.02-89 «Общественные здания и сооружения» [2, 2 с].
- 3 СанПиН 2.2.4.548—96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [3, 3 с].
- 4 Вытяжные и воздухораспределительные устройства. Кузьмин М. С., Овчинников П. А. 1987.
- 5 Автоматика и автоматизация систем вентиляции. Калмаков А. А., Романова С. С., Щелкунов С. А.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 24.09.14.

А. Ж. Исенова

Өндірістік бөлмелердің желдету жүйесін модернизациялау

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 24.09.14 баспаға түсті.

A. Zh. Issenova

Modernization of the industrial facilities' ventilation system

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 24.09.14.

Мақалада өндірістік бөлмелердің желдету жүйесін модернизациялау қарастырылады.

In the paper there is considered the modernization of the ventilation systems in industrial facilities.

Е. В. Комлева

АНТРОПОСОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНЫХ ОТХОДОВ

*Так будет с каждым, кто некультурно обращается
с атомной энергией!*

(Персонаж Ф. Раневской, фильм «Весна»)

Рассмотрены некоторые антропосоциальные аспекты феномена ядерной энергии. Они сопряжены с первой попыткой создания международного подземного могильника ядерных материалов вблизи Красноярска. Отмечены проблемы, которые идентифицированы таким сопряжением.

Ключевые слова: культура безопасности, ядерная энергия, нефть, международный ядерный могильник, Красноярск, Печенга, Краснокаменск, горно-химический комбинат, Россия.

УТИЛИЗАЦИЯ ЯДЕРНЫХ ОТХОДОВ КАК МИРОВАЯ ПРОБЛЕМА

Б. Никипелов [1], один из видных руководителей советской/российской ядерной/атомной отрасли прошлого, со ссылкой на Гегеля, этику и диалектику, отстаивает мнение, что запрет на международное разделение труда в гражданской ядерной сфере – это противоречие, которое будет преодолено историей. И будут созданы крупные международные хранилища радиоактивных отходов в Китае, Монголии, Казахстане, Канаде, России. Мысль верная. Перехватив инициативу, Финляндия уже строит (пройдя национальные разрешительные процедуры!) на своей территории и пока самостоятельно как бы такого рода объект Онкало на площадке Олкилуото (http://www.bbc.co.uk/russian/international/2011/07/110701_5thfloor_nuclear_waste_docu.shtml). Как и на каких других площадках (в первую очередь, российских) верную мысль правильно реализовать? Вот в чем суть. По аналогии с проектом Yucca Mountain стоимость только обоснования и строительства каждого хранилища (подземного)/могильника высокоактивных и долгоживущих отходов (которые нас преимущественно интересуют) составит не менее ста миллиардов долларов.

Такой объект является отражением достигнутого в обществе уровня культуры во всех ее ипостасях, должен мотивировать долговременный прогноз культуры безопасности в расширенном толковании и будет формировать повышенное геополитическое внимание к региону размещения.

Кроме того, существует мнение, что в будущем, возможно, нынешние отходы ядерной отрасли – ценное сырье, а их подземная изоляция – создание техногенных месторождений отложенного использования. Ведь все разнообразие элементного состава вещества Земли – результат когда-то и где-то произошедших ядерных реакций. Но одновременно проблема практически вечно опасного объекта отражает удручающую неопределенность наших нынешних представлений (прежде всего, гуманитарных, а не технических) относительно антропосоциальных аспектов будущего. Именно вокруг такой социокультурной неопределенности в необычном контексте «вечной» безопасности концентрируются основные мысли фильма режиссера М. Мадсена (Michael Madsen) об Онкало.

Можно сказать, что заканчивается своеобразный исторический этап развития ядерной отрасли. А именно, «интеллектуальный период» касательно наведения «после себя» порядка. Время преимущественно теоретических, с преобладанием естественнонаучных и технических проработок, моделей. Моделей первого приближения, предназначавшихся для выбора и частичной апробации самых общих контуров пути, как завершать ядерные топливные циклы гражданской энергетики. Разомкнутый/открытый и замкнутый/закрытый циклы. Оба в разной мере, но не обходятся без отходов. Завершение первоначально предполагало захоронение тех или иных высокоактивных отходов исключительно собственными силами каждой ядерной страны отдельно. Безопасное захоронение таких материалов оказалось достаточно сложным делом, постоянно откладывалось и постепенно стало «ахиллесовой пятой»/«гирей на ногах» мировой ядерной энергетики. В СССР этот этап был еще и сокрыт от историков и широкой общественности. Времена изменились, но этот важный для общества процесс (в том числе и его прагматика) слабо документируется, имеет неустойчивый социально-политический характер, плохо снабжен нормами права, естественниками смежных отраслей и гуманитариями (для полноты картины и мировоззренческого целеполагания) не изучается. И, в итоге, по-прежнему недостаточно и недостоверно известен, полностью не осмыслен, толково и надежно не регламентирован. А также во многом не управляем.

Ныне мы видим, что «интеллектуальный период» принес не только некоторые научно-методические и технические достижения, но и, действительно, сформировал международный вектор их внедрения. Установление баланса между разделением и объединением труда (соответственно, и ответственности) в ядерной сфере сейчас если и не окончательная реальность, то все ближе к этому. Человечество переходит от принципа национальных усилий по захоронению/вечной изоляции всего, что сейчас отнесено к отходам ядерной отрасли, к интернационализации этой деятельности.

Важной составляющей нового этапа, где главным становится дело, должно быть научно-методическое (в том числе юридическое) сопровождение процесса, создание комплексной и без перекосов нормативной базы, чтобы это дело на международном уровне не превратилось в хаос либо в «игру в одни ворота». Чтобы «принцип дополнительности» в политике страны-лидера (учет рациональных и иррациональных аспектов действительности; <http://nuclearno.ru/text.asp?17564>) не привел бы к негативным деформациям во взаимоотношениях с другими. Необходима согласованная всеми участниками международного процесса регламентация разных действий и параметров (от методологии выбора площадки до норм на ее характеристики) на разных (от межгосударственного до предприятия) уровнях. А также - достижение консенсуса при формировании интегрированных международных стандартов. На основе четкого понимания причин и следствий более ранних различных национальных подходов и целей.

Вспоминать серьезно недавно модную концепцию устойчивого мирового развития ныне не принято. Не будем забывать в контексте будущего некоторые далеко не безобидные социально-технологические сценарии трансгуманизма, которые в целом, может и в иной конкретике, но, несомненно, отзовутся усилением монополизма стран научно-технического и финансового авангарда. А также, «первое кибероружие», перспективы которого, уже отрабатываются, прежде всего, на ядерных объектах (<http://nuclearno.ru/text.asp?17591>). Проекты гражданской ядерной отрасли теряют свою жизнеобеспечивающую актуальность. «Сегодня актуальны лишь проблемы уничтожения запасов всех видов устаревшего ядерного оружия и проблемы окончательного захоронения отработавшего ядерного топлива» (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=comments&sid=4716&tid=68829&mode=&order=&thold=>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=comments&sid=4716&tid=68954&mode=flat&order=&thold=>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=comments&sid=4716&tid=69289&mode=flat&order=&thold=>).

Следует подчеркнуть, что, естественно, вектор на международные усилия по захоронению ядерных материалов пока предусматривает в основном энергетику. Однако, можно предположить, что в дальнейшем не исключены такие усилия и применительно к некоторым проблемам военных. Исходная база к этому есть. Хранилище (пока наземное) оружейного российского плутония около Челябинска, построенное с помощью и по технологиям США. Правда, по поводу такого совместного объекта есть серьезные опасения (<http://worldcrisis.ru/crisis/1300398>). Процессы утилизации «всем миром» ядерных судов ВМФ РФ и рекультивация береговых баз. Сейчас международными усилиями Сирию избавляют от химического оружия массового поражения. В будущем, возможно, некоторые

ослабленные, вне авангарда страны будут похожим, принудительно-добровольным, образом избавлены и от ядерного оружия/ядерных материалов, которые будут утилизированы международными усилиями, по международным технологиям и с применением международных подземных могильников. Первое такого рода предложение относительно ядерной программы Ирана уже поступило во время встречи лидеров России и Израиля (<http://vz.ru/news/2013/11/20/660589.html>). На слуху опасения по поводу аналогичной программы Северной Кореи. Вполне возможна, через некоторое время, реальная денуклеаризация Ближнего Востока. НАТО начинает перезахоранивать ядерные отходы советских времен на Украине (<http://news.traders-union.ru/economy/news/198851/>).

ОБЩЕРОССИЙСКИЕ РЕАЛИИ

Постепенный переход к всеобъемлющей практике пока приурочен к России и Сибири. А. Глюксман еще в начале века писал о совпадении интересов некоторых политических сил России и Запада по поводу международного ядерного могильника на российской территории (тогда предпочтение отдавали Челябинску) и о финансировании «уже несколько лет» процесса сближения (<http://www.inosmi.ru/untitled/20020427/140631.html>).

Сближение в рамках темы ядерных отходов происходит на неудачном для российской атомной отрасли фоне. Резкого свертывания реального строительства Россией за рубежом и внутри страны новых АЭС. Выдавливания Росатома с европейского рынка свежего ядерного топлива. Лихорадочных и зачастую сомнительных действий российского атомного менеджмента (www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4560; www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4588, echo.msk.ru/blog/ecodefense/1100254-echo/). Когда с системой принятия опасных и некомпетентных решений в Росатоме начинают не соглашаться полностью лояльные к отрасли в прошлом ее ветераны-профессионалы (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4690>). Когда «Россия за последние 15 лет проспала все основные мировые тренды развития энергетики... Наконец, мы полностью проспали утрату мировой роли атомной энергетики... Это значит, что в будущем наши возможности на мировых энергетических рынках будут становиться все более периферийными». И продолжает стратегически ошибаться (<http://www.forbes.ru/mneniya-column/konkurentsya/250165-strategiya-oshibok-gosudarstvo-poka-ne-znaet-kak-razvivat-energe>). И в условиях, когда экономика России перестает быть российской (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4599>), а обрабатывающая промышленность и машиностроение страны исчезают (<http://www.proatom.ru/modules.php>

?name=News&file=article&sid=4639). Когда страна, во многом и реально теряя культуру и человечность в людях, упивается процессом построения «экономики пустоты» (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5435>).

Но, по словам академика Н. Лаверова (<http://www.fontanka.ru/2013/06/24/138/>), когда «США постоянно с нами советуется» по вопросам обращения с радиоактивными отходами и их захоронения. Это мнение выдающегося геолога, специалиста в сфере безопасности ядерных технологий, основоположника и руководителя российских исследований по геологической изоляции отработавших ядерных материалов, политического деятеля и управленца в нефтегазовом бизнесе. И когда, даже в условиях свертывания политического и экономического сотрудничества по многим направлениям, «Белый дом не позволит конгрессу сократить ядерное сотрудничество с РФ» (<http://www.atomic-energy.ru/news/2014/07/11/50161>).

Ядерная отрасль страны и мира в нынешних трактовках, особенно ее гражданская часть, находится на чрезвычайно важном, но с большой неопределенностью того или иного безупречного исхода, этапе (возможно, в тупике). По крайней мере, ядерная энергетика России должна без рывков, осторожно сменить технологическую платформу: уйти от конверсионных (ВВЭР, РБМК) к новым (каким?) реакторам (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4833>). Ядерное оружие в наступившем веке - оружие бедных, что, в некотором смысле, ставит его вне законов, формируемых современной мировой элитой. Которая сейчас практически монополюно владеет эффективными видами высокоточного неядерного оружия и социальными технологиями невоенного достижения своих целей. Впечатляющий результат применения таких социальных технологий – «постсоветское пространство». Составляющие этих технологий – «экономическое сдерживание», которое заменяет «ядерное сдерживание» (Д. Песков, «Неделя с Марианной Максимовской», 15.03.14), и денежный печатный станок, который как оружие эффективней ядерной бомбы (<http://nuclearno.ru/text.asp?17789>; http://reosh.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=321:l-r&catid=1:jdiscms&Itemid=22).

Документы в связи с закрытием в США Yucca Mountain, разрешительные документы Финляндии относительно хранилища Онкало, американо-российские Соглашение № 123 (2010 г.) и Соглашение по ядерным НИР (2013 г.), Директива ЕС по обращению с ядерными отходами (2011 г.), материалы международного проекта ARIUS (а также конференций под эгидой МАГАТЭ 2002 г. и 2005 г. в Москве). Это основные исходные информационно-правовые вехи на пути создания крупных международных подземных объектов изоляции ядерных материалов и радиоактивных отходов. В том числе и в России. Подробности тенденции раскрыты в моих статьях в

журналах «Научный вестник Норильского индустриального института» (№ 10 – 2012, № 12 – 2013 и № 13 – 2013), «Вестник аналитики» (№ 2 – 2005, № 3 – 2008, № 1 – 2009, № 2 – 2012 и № 3 – 2013), «Юридическая наука» (№ 1 – 2012 и № 3 – 2013). А также – «Геофизический журнал» (№ 2 – 2008 и № 6 – 2012), «Энергетическая политика» (вып. 4 – 2012 и вып. 4 – 2013), «Изв. Вузов. Горный журнал» № 2 – 2012, «Горный журнал Казахстана» (№ 11 – 2011 и № 9 – 2013), «Горно-геологический журнал» (Казахстан, № 3-4 – 2013) и других (ссылки на тенденцию приведены Н. Лаверовым в блоге https://twitter.com/news_nlaverov).

Хотя политическая воля к созданию международных ядерных хранилищ/могильников достаточно определенно начинает проявляться многими странами и поддерживается МАГАТЭ, конкретные юридические, финансовые и экономические механизмы этого, как отмечалось, ещё предстоит создать (Росатом запускает сравнительные правовые исследования на тему площадок для могильников: <http://www.zakupki.rosatom.ru/1307220482014>). В том числе, и по части сбалансирования в России интересов общефедеральных и того региона, где объект будет создаваться. Видимо, как аналог будет принята схема практической реализации Соглашения между МАГАТЭ и Россией (2010г.) о создании первого в мире международного банка свежего ядерного топлива. Приветствуется и критическая правовая позиция относительно международных хранилищ (например, <http://www.dissercat.com/content/problemu-pravovogo-regulirovaniya-obrashcheniya-s-radioaktivnymi-otkhodami>; <http://www.barentsinfo.org/?DeptID=3549>), способствующая полной оценке ситуации.

Необходимо также четко идентифицировать и укоренить социокультурные (светские и религиозные) основания и критерии таких действий. На базе православия, философского наследия Ф. Достоевского (<http://www.lawinrussia.ru/blog/729>), с привлечением идей геоэтики, позитивной ядерной символики (<http://www.globalistika.ru/biblio/komleva.htm>) и других элементов духовно-гуманитарных начал безопасности. Как показано в моих ранних работах (например: <http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2008/1/Komleva/>; <http://www.voskres.ru/economics/komleva.htm>; <http://elibrary.az/docs/jurnal-08/832j.htm>), в некоторых случаях плодотворно обращение к таким брендам как «Медной горы Хозяйка», «Сампо», «Сампо-Лопаренок». Есть и другие ракурсы формирования в ядерном контексте необходимого «культурно-природного каркаса региона». А также «актуализации культурного и природного наследия» (термины Института социально-гуманитарных и политических наук САФУ им. Ломоносова). С целью социокультурного фундирования такого природно-социально-промышленного объекта, каковым должен быть ядерный могильник. Так называемый «индекс безопасности ядерных материалов» Фонда «Инициатива

по предотвращению ядерной угрозы», для сравнения, предусматривает анализ условий хранения и обращения с ядерными материалами в странах мира не только в плоскости военно-технической, но и социокультурной – от прошлого к будущему (<http://www.arms-expo.ru/050049054050124050054055048055.html>; <http://itar-tass.com/mezhdunarodnaya-panorama/875805>). А в СССР, даже когда страна еще не овладела ядерной энергией, уже правильно понимали суть дела, назидательно говоря по поводу пострадавшего от нее человека: «Так будет с каждым, кто НЕКУЛЬТУРНО обращается с атомной энергией!» (персонаж Ф. Раневской в фильме «Весна», 1947 г.). Заслуживает пристального внимания мнение, что культура есть гарант российской безопасности в целом (http://vphil.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=455&Itemid=52). Искажение ныне мировоззренческих оснований, социокультурных начал в практике и нормативных документах разных отраслей вряд ли повышает безопасность их деятельности. В частности, в строительстве (Н. Никонов, <http://pamag.ru/images/nomer9.pdf>).

Примечательны в этой связи материалы и атмосфера общения на профессиональном сайте «Проатом», который допускает разностороннее рассмотрение ключевых для отрасли проблем. «Все как у людей»: от низкого до высокого. Однако, как говорил И. Сталин несколько по другому поводу: «Других...у меня для вас нет». Представляется, что о желаемом более высоком качестве человека и общества, по крайней мере, нужно думать. Не рассчитывая на скорый позитив внедрения особо важной по последствиям «культуры безопасности» (с ее метафизическим и управленческим аспектами). Укоренения ее в ядерной сфере и, как минимум, среди населения соседствующих с ней регионов. «Вживление» или отторжение которой на стадии науки, проектирования, строительства и эксплуатации обусловлено трудно изменяемой природой человека (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5176>). При регламентации действий по созданию международных ядерных могильников не стоит, прежде всего, забывать о антропосоциальной реальности. Применительно к оружейному ядерному комплексу, например, эту реальность изучают в США (vivovoco.rsl.ru/VV/PAPERS/ECCE/VV_EN1_W.HTM) и предлагают изучать в России (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4906>). Причем, как во многом справедливо заметил один из участников дискуссии по поводу такого изучения, «комментарии как раз и отражают суть проблемы». Да уж, далеко американским результатам академических исследований до российской правды-матки, высказанной в душевной беседе!

Вот ставший недавно достоянием широкой общественности пример (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4972>). В 1974 г. на первом блоке ЛАЭС «созревала» катастрофа. Но в то время не в связи с реактором РБМК (ленинградская предтеча Чернобыля датируется

1975 г.), а с системой генерации пара. После предварительной эксплуатации персонал станции заподозрил неладное. Возникли сомнения в безопасности достижения проектной мощности. Назревал скандал. Поразительно, как вели себя участники сдачи в эксплуатацию нетипичного для мировой гражданской энергетики головного энергоблока. Начальство высокого уровня «выкручивало руки» подчиненным, чтобы получить подписи под документом о сдаче блока к знаменательной дате. Конструкторы и проектировщики молчали. Наука (от молодых ученых до академиков) опасность не фиксировала (по некоторым современным версиям «знала, но бездействовала!») и (чтобы не «трансклютировали») по прямому заказу подписывала гарантирующий полную безопасность документ. Случайно (сработала не система выявления брака) в составе сдаточной комиссии ЛАЭС нашелся один (!) человек, который, рискуя профессиональной карьерой и личной судьбой, имел смелость и доводы настойчиво говорить и говорить на официальных совещаниях иное - о необходимости пересмотра технических решений. Многие ли в жизни способны на такое в ответственный момент государственного значения? Но надо отдать должное и руководству тогдашнего Минсредмаша: неудобному специалисту «не заткнуло рот», а, все-таки, успело предотвратить беду на этом и последующих блоках из-за ошибок в парогенерации. Не успело предотвратить Чернобыль, и «стойкого оловянного солдатика» там не нашлось. Хотя катастрофы такого типа на ЛАЭС (благодаря опять же не системе, а высокому профессионализму одного оператора) избежать удалось.

Сейчас общество может быть более спокойным относительно принимаемых Росатомом решений?

Возможно, полезно для понимания статуса ядерной энергетики на реакциях деления задуматься параллельно и о судьбе гражданского термояда на реакциях синтеза (см., например, <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4996>, <http://www.interfax-russia.ru/Siberia/news.asp?id=464721&sec=1671> и ответы А. Просвирнова, <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4921>). Когда в пятидесятые годы прошлого века «на ура» и с величайшей верой начинали разработку этой научно-технической проблемы, мотивация была очевидной. Нужно было поддерживать недавно народившуюся, но сразу ставшую приоритетной водородную бомбу. СССР в то время не был сказочно богат углеводородами, углеводороды только еще набирали силу в качестве основы мировой экономики. Сейчас, по прошествии многих лет, военное дело и гражданская энергетика существенно обновилась технически, технологически и организационно. Россия обладает серьезными реальными и потенциальными запасами нефти и газа (не говоря об угле), за рубежом спрос и цены на российские углеводороды будут падать, нефтегазовая отрасль страны будет

выдавливаться с внешнего рынка. Положительных перспектив глобального освоения термоядерной энергии в мирных целях устойчиво не видно. Нужны ли и не ведут ли в тупик крупномасштабные проекты и финансовые траты касательно термоядерной энергетики?

Завершающие стадии любого ядерного топливного цикла достоверно не исследованы экономически (<http://www.atomnews.info/?T=0&MID=62&Id=62&NID=3481>). Как не поняты до конца и причины Чернобыля, «а реакторы продолжают работать» (комментарии к <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4718>). Кто после ликвидации нынешней РАН хоть как-то (а необходимо комплексно) будет контролировать, учитывая необозримые во времени перспективы позитива ядерной отрасли и ее негативных последствий для здоровья и кошелька множества людей, геолого-географо-экономические «открытия» и гарантии безопасности Росатома?

ЗИГЗАГИ НЕУДАЧ: АДАПТАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ К РОССИЙСКИМ РЕГИОНАМ

Центр России: опасный приоритет Росатома родом из смутного времени

*У меня один знакомый, тоже учёный... —
... так он десятку за полчаса так нарисует —
не отличить от настоящей!
фильм «Джентльмены удачи»*

Уже можно говорить применительно к захоронению отходов о нарушениях правовых норм (как и морально-нравственных, а также научных критериев обоснования). Например: «Строительство подземной лаборатории возле Красноярского горно-химического комбината, несомненно, является началом сооружения пункта геологического захоронения радиоактивных отходов без получения лицензии на такое строительство, то есть является строительством несанкционированного могильника высокоактивных отходов. ... При сооружении подземной лаборатории... образуется депрессионная воронка, естественный гидрогеологический режим (объект изучения, - Е.К.) будет нарушен,... т.е. от лаборатории будет больше вреда, чем пользы» (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4554>, комментарий Б. Серебрякова). Грубые ошибки, скудость обнародованной инженерно-геологической информации, подтасовка фактов, ложь, проектирование при нарушении нормативной последовательности этапов – эти и другие негативные особенности «обоснования» присущи работам по могильнику около Красноярска (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5394>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5226>). Чего стоит только обоснование

необходимости подземной лаборатории через уравнивание полученной с ее помощью локальной геологической информации с несравненно более объемной и представительной информацией от системы разведочных скважин по 800 метров глубиной каждая, пройденных по сетке 1x1м (<http://www.atomic-energy.ru/news/2014/06/16/49555>)!

Некоторые правовые инициативы в связи с могильником ГХК были переданы через В. Путина в адрес глав государств G20 участниками Гражданского саммита «Группы Двадцати» (<http://www.press-line.ru/novosti/2013/06/putinu-predlozhili-obratit-vnimanie-na-yadernyy-mogil-nik-pod-krasnoyarskom.html>).

Даже при показательных акциях открытости, специалистам и общественности не дают ответы на ключевые вопросы: почему именно Красноярский край и Нижнеканский гранитоидный массив, обстоятельства выбора, анализ других мест, критерии выбора, список ранее рассмотренных Росатомом (около 30 в 18 регионах!) площадок? Предполагается, что эти и другие вопросы не останутся все же без ответа (<http://nuclearno.ru/text.asp?17434>). Известен «Эффект Селлафилда» как реакция общества на изменение в ходе работ декларируемого назначения подземной лаборатории (http://www.bellona.ru/articles_ru/articles_2013/1366203649.11). Без честных ответов на вопросы по Красноярску, эффект может получить новое название. Некоторая информация к размышлениям по этому поводу приведена далее.

Площадку, которая была выбрана первоначально для одного объекта (наземного завода РТ-2 радиохимической переработки отработавшего ядерного топлива по несбывшимся из-за «перестройки» планам расширения ГХК, <http://www.iapress-line.ru/dossier/item/10768-unik>), целенаправленно «подогнали» под принципиально другой. Другой, прежде всего, по сроку существования (миллионы лет – могильник, десятки лет – завод). Понятно, что требования к площадкам и к обоснованию их надежности разные для завода и могильника. Есть и другие признаки лукавого «протаскивания» Росатомом нужного решения (www.bellona.ru/articles_ru/articles_2013/Krasnoyarsk-repository-EIA, www.facebook.com/NETmogilniku, www.sgzt.com/krasnoyarsk/?module=articles&action=view&id=1617&theme=2).

Выбранный вблизи Железногорска Нижнеканский массив гранитоидов вскрыт слабо. Имеются обоснованные знания о генезисе этого типа пород принципиальные сомнения в их хороших гидроизолирующих свойствах (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4774>). Нижнеканский массив является южной частью Енисейского кряжа – важнейшей золотоносной провинции России. Кроме того, граниты в последнее время преподносят геологам поразительные сюрпризы, невообразимые ранее. Месторождение «Белый тигр» знаменито гигантскими запасами нефти в гранитах на глубинах 1-3 километра. Есть и другие

примеры нефти в кристаллических породах (http://journal.deepoil.ru/images/stories/docs/DO-1-1-2013/2_Resolution_1-KR.pdf). Кстати, в породах Нижнеканского массива отмечали проявления углеводородов (Ф. Бакшт, Томск, устное сообщение). Для обоснования могильника ГХК эти факты важны несколькими следствиями.

Во-первых, пришло время радикального пересмотра концепций поиска и разведки углеводородов. Во-вторых, доказано, что на глубинах в первые километры граниты могут иметь мощные зоны массопереноса, в том числе с направленностью движения газов и флюидов к земной поверхности. Именно обнаруженные в США (на основе советского опыта изучения пещер) Ю. Дублянским (<http://www.seu.ru/programs/atomsafe/B3/g6.htm>; <http://uibk.academia.edu/YuriDublyansky>) геологические индикаторы периодического появления глубинных вод у земной поверхности впоследствии стали главным аргументом при закрытии проекта Yucca Mountain. Кстати, гидротермальную историю изучали также относительно гранито-гнейсов Онкало (Олкилутто) и Канады (ссылка в <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0227/ML022740218.pdf> на A.R. Bluth и A.R. Bukata). Работы Ю. Дублянского - это впечатляющий и достойный для подражания пример эффективного вхождения геолога «со стороны» в современную глобальную ядерную проблему.

А если под ГХК море нефти или воды? Будем потом, после эксплуатации «ядерного кластера», разведку вести – как Казахстан (<http://lenta.ru/news/2013/06/25/use/>). Германия уже обеспокоилась прогнозом наличия газа ниже подземной лаборатории «Горлебен» на глубине 3 километра и соседством площадки с Эльбой (<http://atominfo.ru:17000/hl?url=webds/atominfo.ru/news/air8788.htm&mime=text/html&charset=windows-1251>). МАГАТЭ, кстати, рекомендует при обосновании площадки захоронения ДОКАЗАТЬ отсутствие в ее недрах и вблизи полезных ископаемых, особенно высоколиквидных. Есть и глобальное третье следствие. Абиогенная нефть, как частный случай нефти в гранитах, позволит не принимать серьезно разговоры про принципиальную невозможность запасов углеводородов, скорое их исчерпание и про неизбежность развития гражданской ядерной энергетики с применением опасной радиохимии.

Единственный, которому сейчас можно безоговорочно верить, предположительный ответ Росатома применительно к Железногорску: здесь действует и будет все же расширено радиохимическое и иное производство ГХК. С целью «одним махом» покрыть все формируемые РФ такого рода потребности. И очень уж набор технологий ГХК подходит для курса на предоставление страной международных ядерных услуг расширенного спектра (<http://www.z101359.infobox.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=888>). Вот так: главное, – обеспечить решение не вполне очевидной задачи по развитию ГХК. Могильник лишь необходимое дополнение для

этого, а не самостоятельная сложнейшая проблема! Радиохимический завод для гражданских целей и другие относительно временные технологии «определяют сознание», а не потребность правильно, всесторонне и надежно обосновать решение по вечной изоляции отходов.

Кроме того, одновременно госкорпорация запускает амбициозный проект «Прорыв», который призван сформировать новый для России и мира облик отрасли и предусматривает, видимо, опасную радиохимическую переработку при каждой АЭС нового поколения непосредственно на площадках этих станций. Кроме того, Росатом обрабатывает технологии консервации/захоронения хранилищ жидких радиоактивных отходов Сибирского химического комбината (Томск) непосредственно на месте их расположения и обещает тиражировать эти технологии на других объектах (<http://www.itar-tass.com/c96/935360.html>). В Железногорске законсервировано подземное хранилище радиоактивных пульп (<http://spetsstroy.ru/pressroom/spsnews/25027/>). Кроме того, в Железногорске, дополнительно к могильнику Нижнеканского массива, будут навечно захоронены непосредственно на месте их эксплуатации промышленные/военные реакторы ГХК и другие высокоактивные материалы (в том числе, с фрагментами разрушенного отработавшего топлива, <http://www.sibghk.ru/news/2207-gkhk-gotov-k-eksportu-tekhnologij-bezopasnogo-vyvoda-iz-ekspluatatsii-radiatsionnykh-proizvodstv.html>). Причем один из главных доводов «великолепен»: другие варианты никогда не исследовались – поэтому будем хоронить так (П. Гаврилов, <http://portal.tpu.ru/files/conferences/eers/2013/sec4.pdf>). Много в РФ ядерных объектов, создавая которые заранее исследования возможности на их площадках либо где-то еще последующего геологического захоронения не проводили! Это же не повод везде «так хоронить».

Что за стратегическое противоречие: общий «санузел», а добавочно еще и многим объектам отдельные «удобства» с «головной болью» на миллион лет? И всем оформление «законных геологических паспортов» задним числом! К тому же, замечу, радиохимические технологии решаются применить в промышленных масштабах гражданской отрасли далеко не все ядерные страны. Россию не смущают «странные метеориты» (<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/12706.html>), осваивающие маршруты над ее территорией.

К сожалению, аргумент якобы отсутствия разумных альтернатив применительно к захоронению ядерных отходов не в первый раз в истории России назначают главным (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5253>).

Обозначим четко последовательность и причины событий. ГХК вблизи Красноярска разместили, дабы до него тогдашние ударные силы США

(бомбардировщики) не добрались. Объект геологической изоляции ядерных материалов решили разместить в Нижнеканском массиве, главным образом, из-за близости ГХК, а не по геологическим критериям путем альтернативного выбора площадки применительно к условиям страны/региона. Но нет худа без добра. Очень хорошо (применительно к проблеме уже могильников, а не одного могильника вблизи Красноярска), что есть история и опыт создания и эксплуатации подземных объектов ГХК. История и опыт, достойные памяти и уважения. Но, с горно-геологической точки зрения, фиксируются тревожные факты, подрывающие веру в удачное будущее ядерных могильников на данной территории.

Сначала нам писали администраторы горно-ядерной науки, что с качеством массива, вмещающего подземные объекты ГХК, все хорошо (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=155>). Когда другие специалисты этой же науки стали писать для иностранных заказчиков, оценки изменились. «До начала строительства подземных объектов скальный массив ГХК в гидрогеологическом отношении был практически не изучен» (<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/321359.pdf>). В процессе же эксплуатации ГХК и исследований горных пород ГХК как аналога Нижнеканского массива вполне ожидаемо для данного типа пород обнаруживаются участки с показателями высокой гидравлической проницаемости массива (кстати, гораздо выше, чем нормы на проницаемость пород по критериям размещения могильников). В том числе (и особенно) в пределах приконтурной зоны подземных сооружений. Налицо тесная связь поверхностных и подземных вод (<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/321359.pdf>).

Факт «прозрения» неизбежно повторится и на Нижнеканском массиве, как только организаторы работ перейдут от благостных и ангажированных первоначальных обоснований к открытому обсуждению данных детальной разведки массива на глубину не менее 2-3 километров. Не перескакивая через этапы добротной РАЗВЕДКИ с поверхности до заложения дорогостоящих горных выработок подземной лаборатории. А также, объективно рассмотрев имеющийся опыт натуральных оценок термомеханических последствий воздействия на целостность вмещающих горных пород «начинки» подземных сооружений ГХК (например, технические отчеты и журнальные публикации А.Б. Зверева). Расчетные модели – хорошо. Хотя они при чисто методологическом тестировании даже на одном и том же исходном материале (не экзаменируя важнейший фактор - достоверность этого материала) могут приводить к ужасающему разброду в результатах (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5226>). Но разведка массива, которая в геологии предполагает также экспериментальную оценку основных параметров дальнейшей эксплуатации подземного объекта, и натурные исследования имеющихся выработок – лучше.

Вряд ли кому-либо из горняков, например, придет в голову идея строить подземный рудник, если для месторождения не утверждены (на государственном уровне) запасы руды, не выявлены достаточно надежно подземные условия, не отработаны технологии подземных работ и переработки руды, не определены потребители продукции. Совершенно точно, что для такой идеи данные по картировочным скважинам неглубокого заложения – никудышная основа. Каковы в Нижнеканском массиве «запасы» пород требуемого инженерного качества, их пространственное размещение? Каковы «запасы» отходов для Нижнеканского могильника и источники их формирования? Каков масштаб объекта, строительство которого пока поручено (на общественных слушаниях) одобрить даже не населению Красноярского края и тех тысяч железнодорожных станций, мимо которых пойдут «ядерные составы», а лишь славным жителям Железногорска? «За себя и за того парня», причем и за «парня» из будущего. Может быть, уже многократно увеличен бюджет Железногорска, как следует из французского опыта согласования решений с муниципалитетами, озвученного на Общественном совете Росатома в 2014г. (<http://www.atomic-energy.ru/news/2014/06/09/49463>)?

Нынешняя администрация Росатома на примере программ строительства АЭС показала слабость планирования и реализации планов в интервале времени в десять лет. Но она, на примере могильника вблизи Красноярска, пытается убедить общество, что на миллионы лет вперед предвидеть ход событий и тратить бюджетные деньги умеет. Специалисты США несколько десятков лет поэтапно выбирали по всей стране площадку для могильника, сравнивая разные геологические формации, пока не получили право начать горные работы на Yucca Mountain. Но, увы, итог и здесь печален.

А Росатом наскоком, в период труднейшей социальной ломки, в условиях буйства безответственных решений, при внешнем управлении процессами внутри страны с помощью вачеров и «коробок из-под ксероксов», нашел подходящий массив «у забора» ГХК, замалчивая историю вопроса и альтернативы. Хотя должен был бы оценить территорию страны (если говорить о международном могильнике) или того региона, отходы которого должен принимать могильник (если говорить о региональном могильнике). «Забыв» это сделать («забыв» про общепризнанный в мировой практике необходимый этап), Росатом сразу создал основания для серьезных сомнений в объективности работы. Дальше потянет «забыть» про добротную разведку (первооснову любых подземных начинаний) площадок Нижнеканского массива – и выручай, филология, вместо геологии... Про похожие ситуации в народе говорили так: «Дела идут, контора пишет». В результате именно такой филологии Нижнеканский массив еще в 2007 г. объявлен разведанным и пригодным. Нарисована картина, на которой на многие километры в трех

измерениях массив весомо охарактеризован монолитным (<http://www.atomic-energy.ru/news/2014/06/16/49555>). На основании этого сделан следующий шаг – как бы вмонтирован нужный блок в фундамент обоснования будущего международного центра: «Кроме того, одним из преимуществ размещения на ГХК такого комплекса является наличие разведанного в данном районе Нижнеканского гранитоидного массива, который может быть использован для захоронения надежно упакованных высокоактивных отходов (ВАО) от переработки ОЯТ и неперерабатываемого облученного топлива» (<http://www.z101359.infobox.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=888>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=888>).

Выбор Нижнеканского массива осуществлен структурами Росатома – ВНИПИПромТехнологии и Радиевым институтом. Он не оптимален геологически (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5226>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4634>). Номенклатура подлежащих долговременной/вечной изоляции высокоактивных материалов уже сейчас не сводится только к отходам радиохимии ГХК. Со временем, особенно при ускорении процессов демонтажа ядерных объектов и все большей интернационализации отрасли, неадекватность по многим параметрам площадки вблизи Красноярска будет становиться все очевидней и отягощающей. И шаг за шагом, если могильник здесь будет построен, его функции, скорей всего, будут последовательно, каждый раз «в связи с новыми непредвиденными обстоятельствами», расширяться. Модернизация станет постоянной. Радиационные нагрузки на территорию будут возрастать. Как происходит сейчас на площадках в Сосновом Бору (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5079>), Сайда-Губе и Приморье. И как, в принципе, уже предусмотрено в подготовленном на иностранные деньги и ссылающемся на международный, по-крупному, статус могильника под Красноярском документе (<https://e-reports-ext.llnl.gov/pdf/321359.pdf>). По схеме многоступенчатой «актуализации» со временем целей и задач (попросту говоря, подгонки под нужные). Для создания условий конкурентоспособного на международной арене развития российской ядерной энергетики и промышленности.

При уважении к опыту упомянутых выше институтов, следует помнить, все же, и некоторые неприятные итоги их научных обоснований в условиях финансовой и корпоративной зависимости от администрации Росатома. ВНИПИПромТехнологии – разработчик («научный» подход тот же – «у забора» своего объекта, но совершенно иного назначения) отвергнутого после критики со стороны Горного института Кольского НЦ РАН проекта подземного ядерного могильника на полигоне Новой Земли, незаконченного аналогичного проекта для территории ПО «Маяк». Кто может вспомнить добрым словом эти проекты? Прямое наследство ВНИПИПТ –

неоднозначные результаты подземных ядерных взрывов в мирных целях. Радиевый институт поддержал продвижение одной из технологий обращения с радиоактивными отходами на объекты ПО «Маяк» и РосРАО. Технологии, которую осудила Комиссия РАН по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований (http://www.gazeta.ru/science/2013/06/28_a_5394973.shtml; http://moi-vzn.narod.ru/VZN_12.PDF, с. 22-24; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4630>).

Разумные независимые альтернативы на периферии:
лучшие, но опальные

Ну-ко, ты, мастер явленный, покажи, как, по-твоему, сделать?

П. Бажов, «Каменный цветок»

Могильник за Уралом – исторически не первое предложение Минатома/Росатома. Кстати, первым (1985г.) было предложение о Кольском полуострове (http://www.opes.ru/news.aspx?id=221&ob_no=86000), а первое впечатление, как говорят, всегда самое верное. Какова судьба предыдущих, каждое из которых в свое время было «всесторонне обоснованным и единственно верным»? Почему «один на всех» могильник вот-вот будут строить вблизи Красноярска – географического центра России? Всесторонне ли обоснован этот вариант с учетом предыдущих и еще имеющих сейчас вариантов и тенденций?

В 2014 г. была организована «арабская весна» с нацистским душком уже непосредственно у границы РФ - на Украине (дожили!). Экономическая подоплека – сланцевый газ. И это лишь один из первых этапов при достижении важнейших геополитических целей (<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0009/001a/00091108.htm>). На Украине, которая отягощена «наследством» Чернобыльской АЭС, с трудом и демонстрацией слабой договороспособности расставалась с целью владеть ядерным оружием (<http://www.pircenter.org/media/content/files/12/13984146740.pdf>). Причем эта цель, в диких условиях современного «гуляй-поля», может быть реанимирована (<http://nuclearno.ru/text.asp?17734>). Господствовавший там клан постсоветских олигархов не проявил даже признаков желания защитить государственные интересы. Прогнозы поведения российских олигархов в схожей ситуации даны Ю. Болдыревым (<http://svpressa.ru/society/article/82781/>). «Арабская весна» в условиях развитой ядерной инфраструктуры, хотя и изначально гражданской, порождает нешуточные глобальные тревоги (<http://topwar.ru/42726-yadernyye-tayny-pokoynogo-muzychko.html>; <http://www.fondsk.ru/news/2014/03/27/o-chem-molchali-na-gaagskom-sammite-26631.html>). Под предлогом заботы о ядерных объектах многие не исключали раздел этой второй по значимости

славянской страны (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5097>). Кто готов согласиться с тем, чтобы ядерные объекты и в окрестностях Красноярска охраняли бы силы НАТО, как подобное прочат Украине (<http://itar-tass.com/mezhdunarodnaya-panorama/1114926>; <http://worldru.ru/index.php?nma=news&fla=stat&nums=31930>)?

А почему не построить два объекта подземной изоляции ядерных материалов, но у границ (западной, Печенга и восточной, Краснокаменск)? Могильники у границ с серьезными соседями на несколько порядков повысят безопасность объектов. По крайней мере, о разрушениях в результате военных действий, диверсий и терактов, направляемых против России, призывах внешних сил в связи с могильниками к делению страны пополам можно будет не беспокоиться. Уменьшится число желающих дестабилизировать страну посредством «цветных революций». Терроризм и промышленные аварии стали постоянной частью российской действительности. Новинкой применительно к ядерным объектам следует считать «интеллектуальный терроризм изнутри» (<https://www.facebook.com/Zelenaaliga/posts/328816177263046>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5307>; <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4833>, комментарий Е. Катковского). Будем также крепко помнить о работе крылатых ракет по Югославии. Вовсю идет подготовка к подобному в Сирии. Но никто не решится потревожить таким образом совместно Россию и Китай или Россию и Норвегию, Финляндию, Швецию. Да и другие аспекты безопасности могильника будут выверены многократно, безо лжи, в связи с жизненно важными интересами разных стран, не только Росатомом.

Учитывая масштаб задачи и длительность качественного выбора, строительства, эксплуатации и мониторинга объекта, несомненно, что это мотивирует «навечно» международное сотрудничество в приграничье нынешней молодой поросли специалистов и будущих поколений. Можно (пока сугубо предварительно и менее конкретно) подумать в контексте периферии и о международных могильниках на Камчатке и Таймыре.

В конце концов, если события к тому пойдут, у Печенги и Краснокаменска есть и потенциал глобального или регионального (арктического в случае Печенги) ядерного сдерживания аналогично широко известной идее реального и фантастического вариантов «Периметр» и «Машина Судного дня». Никаких уязвимых средств ответной доставки не надо. И дополнительные усиливающие эффект «оболочки» из кобальта или урана легко выполнить из местного рудного сырья. «Ядерный остров» в границах родного мне Мурманска (<http://nuclearno.ru/text.asp?17345>), как и хранилище на сто лет в Сайда-Губе, видимо, задумка Росатома «из той же серии». Но, надо отметить, не в самый раз придумано: слабо, слабо.... Не

учли настораживающую трассу событий с АПЛ «Комсомолец», «Курск», «Екатеринбург». По части защиты безопасности страны и региона этот как бы остров не только многократно хуже, чем вариант Печенги, но и, скорей всего, подрывает ее. Береговые базы и судоремонтные заводы ВМФ России, прилегающие акватории в пору называть «Новыми Бермудами».

Народ, не очень смыслящий в математике, но знающий жизнь конкретно, говорит примерно так: «Лучше один раз увидеть и пощупать, чем сто раз имитационно моделировать». Поэтому предлагаю новую последовательность/программу работ по подземно-ядерной науке. У ГХК и Росатома, как и вообще в Красноярском крае (и не только), ведь многое уже есть.

Надо перевести туннель под Енисеем (слух прошел, что конкурс объявляли на предмет нового его использования) в ранг Подземной лаборатории (ПЛ) № 1. ПЛ № 2 – выработки, где будут на месте эксплуатации захоронены промышленные реакторы. Обе лаборатории полностью отключить от систем жизнеобеспечения и наглухо замуровать – избавить от влияния цивилизации. Оставить наедине с реальными природными процессами. Снабдив, конечно, каждую отдельной шлюзовой камерой – люком для периодического посещения лабораторий специально введенными в штат ГХК профессиональными спелеологами. Они будут совместно с учеными мониторить результаты. Надо бы красноярских спелеологов спросить: а нет ли вблизи ГХК природных пещер? Вот нам и ПЛ № 3 была бы. ПЛ № 4 следует разместить на одном из объектов «Норильского никеля» в Красноярском крае. ПЛ № 5 и № 6 – готовые выработки Краснокаменска и Печенги. Обобщение долговременных наблюдений за природно-техногенными процессами внутри и вне законсервированных подземных сооружений позволило бы говорить о некоем натурно-виртуальном подобии ПЛ № 7. Пример – исследование геологических изменений в связи с полостями и отсеками захоронения продуктов подземных ядерных взрывов («гора еще дышит», <http://www.atomic-energy.ru/articles/2012/01/31/30417>), а также с закрытием рудников Урала (Елохина С. Н., Елохин В. А., <http://www.mi-perm.ru/content/resume1.pdf>).

Лет через 20-30 станет ясно: по нашим расчетным законам природа преобразовывает разные натурные модели могильников (которых в уже готовом виде может быть достаточно для надежных выводов) или по своим. А уж потом, если еще не исчезнут желание и потребность, можно будет приступить к работам по ПЛ № 8. Непосредственно в пределах Нижнеканского массива, предварительно в должной степени разведанного. А уж совсем потом из восьми лабораторий надлежит выбрать лучшую. В ее площадку и следует вложить основные инвестиции. Можно проигравшие лаборатории и на миллион лет оставить в качестве «образцов-свидетелей».

Есть-пить они не попросят, а в реальный могильник вход должен быть ликвидирован по его статусу.

Отметим, что авторство идеи о подземной лаборатории и могильнике в Краснокаменске, нашедшей поддержку в США и МАГАТЭ, принадлежит коллективу сотрудников ИГЕМ РАН во главе с Н. Лаверовым. Еще нужно внимательно посмотреть – что будет экологичнее и экономичнее: перевезти отходы Красноярского ГХК в надежное подземное хранилище в Краснокаменске или переместить тот же объем отходов в Нижнеканский массив с последующим на миллионы лет ограничением хозяйственной деятельности на Енисее из-за радиоактивных протечек из этого массива?

Площадки Челябинска и Красноярска, а также, отчасти, Краснокаменска и даже Печенги – все «дети» Минатома/Росатома. Но есть нюансы. Важен фактор времени. И дипломатия официальных высказываний, соответственно меняющейся обстановке, позициям и комбинациям проблемы могильника с другими крупными ядерными проектами. Челябинск – предложение 70-х годов прошлого века. Красноярск – «лихих» 90-х. Краснокаменск – формируется на наших глазах. По разным причинам позиция атомного ведомства объективно и субъективно менялась (страна изменилась!). Сначала фаворитом был Челябинск (но там из-за неудачной по-крупному геологии отходы пришлось сливать в наземную гидросеть: в результате – большое загрязнение, что препятствует новым крупным международным проектам). Сейчас – безопасный для всех (кроме России) Красноярск. Завтра – ? Дипломатия и авторитет Н. Лаверова, интересы западных партнеров (прежде всего, США) позволяют коллективу ИГЕМ (тесно связанному с Росатомом) все же удачно развивать этот относительно независимый вариант. Не раздражая атомный менеджмент в публикациях прямым противопоставлением площадок. Но все же иногда стратегическая цель проскальзывает, обозначается явно. А Печенга (п. Никель) впервые в качестве площадки могильника, хотя тогда по ситуации лишь для частного случая, была названа бывшим офицером Северного флота, сотрудником ВНИПИЭТ и консультантом «Беллоны» В. Перовским (<http://bellona.ru/reports/NothernFleet/1184076942.91/#64b>).

Международные подземные ядерные хранилища/могильники можно рассматривать как элементы будущих систем ядерного нераспространения и физической защиты ядерных материалов, как панацею, в том числе, и от попадания этих материалов (возможная начинка радиологического оружия) в руки террористов.

Но прежде, все же, следует, минимум на двух уровнях, переосмыслить вопрос: «Нефть или ядерная энергия/ядерные отходы?» Глобальный уровень. Если абиогенная нефть реальна (как реальна на Земле вода различного происхождения), то нужно остановить (приостановить) развитие нынешней

и любой другой будущей ядерной энергетики, неотъемлемым следствием которых есть и будет штатное и аварийное генерирование высокоактивных и долгоживущих отходов. А также – системы международных подземных ядерных могильников, в том числе приостановить работы вблизи Красноярска. Локальный уровень. Если строительство могильника вблизи Красноярска необходимо, надо с помощью глубокого бурения доказать отсутствие нефти и благоприятный гидрологический режим применительно к оконтуривающим предполагаемое место заложения объекта кристаллическим породам Нижнеканского массива.

Для Печенгской геологической структуры (породы основного и ультраосновного состава) и ее обрамления (где обильно, как и в зоне урановых месторождений Краснокаменска, представлены и граниты) эти вопросы имеют ответы. Множеством скважин глубиной 2-2,5 километра, сетью горных выработок «Норильского никеля» и Кольской сверхглубокой скважиной доказано отсутствие нефти и показаны благоприятные предпосылки естественной гидроизоляции (например, <http://www.biodiversity.ru/publications/arctic/archive/n12/nikel.html>) будущих подземных сооружений могильника. Породы собственно Печенги в сравнении с гранитами более устойчивы к внешней дестабилизирующей энергии (диссипация напряжений) и более эффективны в способности «самостоятельно залечивать» возникшие все же из-за внешнего воздействия трещины. На основе местного сырья разработаны строительные материалы, надолго предназначенные для дополнительной (в составе защитных инженерных барьеров) изоляции радионуклидов, а также блокирования опасных процессов внутри могильника [2]. Про инженерно-геологические и другие свойства гранитов Краснокаменска (в частности, их опасную склонность к горным ударам, <http://itar-tass.com/novosti-partnerov/794047>) много знают тамошние и московско-петербургские специалисты.

А мурманские геологи, геофизики и горняки пока еще способны (даже, вероятно, самостоятельно и уже в ближайшее время) наполнить имеющимися на сегодня фактическими результатами полевых работ первоначальную «затравку» для дальнейшего полноценного обоснования альтернативного варианта международной площадки захоронения высокоактивных и долгоживущих ядерных отходов на Северо-Западе РФ. В прошлом веке их усилиями и по их инициативе в честном научном соревновании было доказано, в том числе на международном уровне (TACIS Project NUCRUS 95410), преимущество Мурманска перед Новой Землей. Кроме того, был подготовлен вариант комплекса критериев отбора площадок, применимый и для других регионов. Кроме того, непосредственно для Печенги был выполнен анализ данных гидрогеологических испытаний по стволам 13 глубоких разведочных скважин ([3]; <http://www.biodiversity.ru/publications/arctic/>

archive/n12/nikel.html). Эти и подобные другие, отражающие благоприятные инженерно-геологические условия, скважины-индикаторы, число которых можно легко увеличить до «113» посредством специальных камеральных исследований имеющейся комплексной документации, будут исходными ориентирами своеобразного «путеводителя», базовыми элементами координатной системы, вблизи которых целесообразно искать подходящие блоки пород для строительства. Почему бы мурманским специалистам с имеющимся горно-геологическим опытом, примерами площадок на Кольском полуострове и анализом, прежде всего, соседских шведско-финских аналогов (мировых лидеров по части использования скальных массивов для создания ядерных могильников и хранилищ углеводородов) не быть спарринг-партнерами исследователям площадки около Красноярска? А иногда – и стимулирующими объективностью оппонентами.

Горный институт Кольского НЦ РАН, например, изучает проблемы ядерных объектов совместно с научными и производственными партнерами как России, так и Германии, Франции, Бельгии, Норвегии и Китая (<http://www.goikolasc.ru/node/16247>; <http://www.goikolasc.ru/partner>). К сожалению, одновременно, он слабо взаимодействует с «Норильским никелем» как применительно к ядерным, так и традиционным горным проблемам. Похоже, что и формировать новое мировоззрение в освоении природных ресурсов он предпочитает без важного регионального и мирового субъекта научно-хозяйственной деятельности (<http://www.goikolasc.ru/sites/default/files/inform.pdf>). Но, (хорошо ли, плохо ли это?) на данном уважаемом институте свет, как говорится, клином не сошелся.

Есть предположение, что Нижнеканский массив выше уровня моря не будет лидером по объему исследований в настоящее время. И никогда (природу не обманешь!) - по гидрогеологическим условиям пород в сравнении с данными ([3]; <http://www.biodiversity.ru/publications/arctic/archive/n12/nikel.html>) не только по Печенге, но и по гранито-гнейсам Швеции и Финляндии. Выбранные для могильников условно слабопроницаемые гранитоидные блоки Швеции и Финляндии дополнительно находятся под дном моря в равновесии с окружающей средой. Равновесие компенсирует некоторый их недостаток по проницаемости. То есть, и с точки зрения наличия внешних гидравлических потенциалов надо помнить о разной (прежде всего, сезонной) динамике поведения воды в Нижнеканском массиве и зарубежных «эталонах»: явно подвижная вода и условно неподвижная.

По опыту геофизиков, стенки разведочных скважин (бурением как с поверхности, так и из подземных выработок) и целостность массивов на Печенге вне маломощных и редких участков богатой руды, как правило, без дефектов. Свободной воды в таких интервалах пород нет. Это позволяло успешно применять для разных качественных и количественных

(производственных и экспериментальных) каротажных исследований не только кавернометрию, но также гамма-гамма плотностной и гамма-гамма селективной, рентгенорадиометрической, спектрометрической нейтронный гамма-, нейтронно-активационный, нейтрон-нейтронный и другие методы. Такую, существенно дополняющую результаты непосредственно гидрогеологических работ (которые не являются в технологии геологоразведки массовыми), оценку качества массивов можно проверить по архивам Мурманской геологоразведочной экспедиции и комбината «Печенганикель». В том числе, посредством интерпретации заново (в связи с новой задачей) первичных материалов полевых работ. Или при постановке новых каротажных исследований. Применение некоторых из перечисленных методов, несомненно, повысит достоверность оценок инженерных условий и должно быть важной составной частью будущей методики выбора конкретных блоков заложения подземных сооружений.

Одновременно с работами по Красноярску применительно к Кольскому полуострову были бы созданы предпосылки строительства объекта новой отрасли, сочетающей горно-геологическую основу и функции энергетики. Объекта, который бы (дольше, чем горное дело прежних и нынешних лет, стоящее на пороге кризиса: особенно предприятия цветных и черных металлов, http://www.kolasc.net.ru/russian/press/13/2811_05.pdf) стабильно наполнял бюджет региона основными доходами. Наихудшие перспективы традиционной деятельности, учитывая планы «Норильского никеля» по реструктуризации производства и перераспределению задач между Норильском и Печенгой, имеет промышленная площадка п. Никель. Возможно, что даже будет свернута (впервые за всю историю освоения месторождений!) работа ООО «Печенгагеология» по наращиванию запасов медно-никелевых руд (<http://www.infocrisis.ru/sokratili/902.html>). Новые векторы развития энергетической системы Мурманской области, ключевые факторы «бытия» горной промышленности и создание новых горных технологий. Эти вопросы обозначены в программе II Мурманской международной деловой недели (2013г.) среди центральных. Горному буму в Финляндии последних лет нужна серьезная альтернатива на Мурмане. В докладах П. Машегова, С. Симонова и Г. Победоносцевой (<http://www.iер.kolasc.net.ru/tezis2013.pdf>) возможность рывка в развитии северных регионов, например, связана с крупными научно-производственными проектами (в том числе, на базе Кольской сверхглубокой скважины), которые сравниваются по масштабам и значению с проектами в ядерной сфере.

Предлагаемая же «Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года» вряд ли может дать ориентиры на серьезное дело. Таковыми не могут быть иллюзорные надежды на строительство Кольской АЭС-2 (<http://www.b-port.com/news/item/119715.html>) и

активное освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения. Тем более, что США планируют запрет на экспорт высоких технологий в области нефтегазовой промышленности в Россию по аналогии с ограничениями экспорта военных технологий. Запад рассчитывает избежать непосредственного воздействия на экспорт энергоресурсов, но серьезно затормозить прогресс в области разработки новых шельфовых месторождений Арктики, развития СПГ-проектов и других подобных направлениях (<http://news.mail.ru/politics/18169592/?frommail=1>). Тем более, что очевидно динамичное, ни перед чем не останавливаясь, проникновение американских компаний со своими технологиями добычи сланцевого газа на месторождения Восточной Европы. Как призрачны и прогнозы соответствующих Кольской АЭС-2 и Штокману инвестиций и результатов (опубликованное на сайте Института экономических проблем Кольского НЦ РАН письмо № 17547-2115 от 24.10.13, <http://www.iep.kolasc.net.ru/news/news25102013.php>).

Налицо, во многом, имитация радения о деле путем реанимации на уровне области разговоров, которые на уровне страны и крупных международных компаний за несколько десятков лет (и несколько лет «Стратегии»!) не дали даже приближения к результату. Малая значимость и ошибки «Стратегии» видны и простому люду (<http://blogger51.com/2013/10/46992>). И такая реакция в области на «Стратегию», подготовленную на стороне, не в первый раз (<http://blogger51.com/2011/11/21668>). Но, к сожалению, предлагаемые вновь и вновь стратегические подходы не учитывают достаточно явные тенденции. И не случайно, видимо, II Мурманскую международную деловую неделю воспринимают как «Неделю сказок» (<http://blogger51.com/2013/11/47405>). Стоило бы вспомнить пословицу: «Чем богаты, тем и рады». А ядерная инфраструктура, горно-геологический потенциал и надежные скальные массивы Мурманска – это недооцененное ныне российскими стратегами реальное богатство.

Пока же, к сожалению, регион теряет время и перспективу. Но, незаменимых регионов, как и незаменимых специалистов, не бывает.

«Неделя сказок» контрастно по смыслу, но совпала по времени с юбилейными воспоминаниями об академике А. Ферсмана – знаменитом геологе-государственнике и хорошем человеке. Его не мечта, но мечта, его дела, усиленные счастливым образом нацеленностью страны на реальное ускоренное развитие, преобразили регион. С другой стороны, чуть позже «Недели», на которой было с привязкой к важным федеральным документам 2013 г. торжественно объявлено об арктическом курсе и инновационной траектории развития области (<http://fedpress.ru/news/econom/reviews/1384947163-marina-kovtun-arkticheskii-kurs-predpolagaet-innovatsionnuyu-traektoriyu-razvitiya#comments>), нынешнее

государство обнародовало решение о замораживании госпрограммы социально-экономического развития Арктики (<http://flashnord.com/news/pravitelstvo-rf-zamorozilo-gosprogramm-razvitiya-arktiki>). Но формировать и укреплять арктические границы РФ, похоже, будет (<http://news.mail.ru/politics/16044427/?frommail=1>).

Именно с Мурманом отчасти связаны разработка основ научного направления по локализации радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, стратегическому использованию подземного пространства страны. А также – руководство крупномасштабными исследованиями в области подземного строительства специальных объектов государственного значения, в частности – подземных АЭС и ядерных могильников (<http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/vestnik-2-2014.pdf> – В. Маслобоев; <http://ria.ru/science/20130725/951940224.html> и <http://goikolasc.ru/congratulation> – Н. Мельников и В. Конухин). В ходе работы Контактной экспертной группы МАГАТЭ на Кольском полуострове в октябре 2013г. прозвучали высокие оценки выполненной работы и перспектив. «Мурманская область – крупнейшая территория по развитию ядерных технологий». «С использованием немецких технологий и наших подходов... рождаются совершенно новые технические решения», «... будет создан полный цикл обращения с радиоактивными отходами на северо-западе России. Технологии и методы, которые здесь применяются, позволят решить глобальный вопрос с захоронением РАО» (<http://nord-news.ru/news/2013/10/11/?newsid=54929>). Аналогично думают и члены Комитета по природным ресурсам, природопользованию и экологии ГД РФ, которые работали в Мурманске сразу после иностранных экспертов (<http://murman.rfn.ru/rnews.html?id=1186841&cid=7>). Мурманская область настойчиво добивается взаимности от Германии и в горно-геологической сфере (<http://helion-ltd.ru/news/15475-2014-04-03-09-22-34/>).

Попытки «навести мосты» между площадками Мурманска и восточных регионов РФ со стороны специалистов Кольского полуострова были ([2]; http://www.opec.ru/news.aspx?id=221&ob_no=86000; conf.sfu-kras.ru/uploads/MelnikovNN.doc; portal.tpu.ru/files/conferences/radioactivity/book-light.pdf; <http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/vestnik-1-2014.pdf>).

Печенга максимально обеспечит выполнение упомянутой рекомендации МАГАТЭ по недрам: известные месторождения исчезнут, а новые практически невероятны при высочайшей геологической изученности территории. Не изменится коренным образом ситуация на данной площадке даже при использовании новых технологий и организации поисковых и разведочных работ относительно традиционного и нового (золото) для Печенги сырья, о гипотетических результатах которых предполагает в общем по региону А. Калинин (<http://zolotodb.ru/articles/geology/placer/10553>). Новые

исследования по высоколиквидным полезным ископаемым здесь беспроигрышны при любом их результате. В частности, при отрицательном результате или, в крайнем случае, локальной находке они усилят доказательную базу в части подземного ядерного объекта вне месторождений. Аналогия: в РАН (Н. Лаверов) такой же подход к Краснокаменску считают «единственно верным» (2011 г., <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=bb9c25dd-630b-4f87-8d3e-6fad9a0ba9ca>; 2005г., newmdb.iaea.org/GetLibraryFile.aspx?RRoomID=694). «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» может работать при существующих запасах урана 30-35 лет.

Международные перевозки ядерных материалов и радиоактивных отходов в Печенгу (как и часть российских, например, с Дальнего Востока, если там не будет могильника, из Соснового Бора, <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=5105>), скорее всего, будут осуществляться морем. Через незамерзающие порты Киркенес или Лиинахамари. По освоенным несколькими странами (США, Япония, Франция, Швеция, Россия и др.) технологиям. Или через Балтику и северную Финляндию. Логистические системы Онкало и Печенги во многом пригодны для унификации. При этом территория России не будет подвергаться опасности. И страна претендует на роль лидера на рынке морских перевозок ядерных материалов как применительно к Северо-Западу (<http://51rus.org/news/economy/7649>), так и к неограниченному району плавания (<http://globalsib.com/18894/>). Кстати, логистика при уничтожении сирийских отравляющих веществ имеет схожие черты: морские перевозки под охраной ВМС США и России – порт Гамбург – переработка на территории Германии в районе Мюнстера.

Желательно было бы протестировать излишне сильный тезис (<http://www.khlopin.ru/proceedings/11-2.pdf>) о Нижнеканском массиве как единственном пока еще в России природном объекте с максимально высоким статусом подготовки для сооружения подземного могильника высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива. В сравнении с материалами по Печенгской структуре, Стрельцовскому рудному полю (Краснокаменск) и площадкам ПО «Маяк». И с учетом различия между нынешними социальными и политическими условиями и теми, которые были на момент мутно-волюнтаристского «раскручивания» Нижнеканского массива как площадки могильника. Только такое тестирование может позволить говорить о научной достоверности тезиса авторов из Радиевого института и легитимности основанных на нем приоритетных исследований вблизи Красноярска. А также – надеяться на получение так называемой социальной лицензии на строительство и эксплуатацию могильника. Несомненно, полезными были бы и сравнительные исследования российских, украинской (Чернобыльская зона), казахстанской (Семипалатинский полигон), китайской

(Бейшан, <http://www.atomic-energy.ru/news/2012/03/26/32151>) и других (монгольских, канадских) потенциальных площадок подземной изоляции ядерных отходов через «призму» данных по объекту Онкало.

Следует отметить, что разрабатываемая для Печенги методология обращения в контексте геологического хранения/захоронения ядерных материалов к бывшим или истощающимся сульфидным медно-никелевым месторождениям (но не к вновь вводимым в эксплуатацию, например, в Воронежской области) имеет потенциал расширения/тиражирования/унификации. В частности, в пределах Балтийского щита (особенно Финляндии). Возможно, и для условий ядерных технологий Северной Америки и никеленосных провинций Канады. Возможно, и для условий Казахстана (Жезказгана). Возможно, и для условий ядерных технологий Тихоокеанского региона и никеленосной провинции Камчатки, в пределах которой следует ожидать позитивных комбинаций шахтного и гидротермального (<https://sites.google.com/site/geobelousov/>) способов утилизации/изоляции/омоноличивания. Причем на Камчатке плодотворным будет симбиоз Китая (владелец горных выработок, http://kamchat.info/novosti/kitajcy_pokupayut_krupnejshie_mestorozhdeniya_nikelya_i_medi_na_kamchatke/) и Газпрома (владелец инфраструктуры гидротермальной технологии, http://gia.ru/press_video/20100513/234263725.html).

Отличительной особенностью этой методологии (по моему мнению – положительной) является отсутствие «родовой связи» площадки захоронения с каким-либо первоначально созданным там ядерным объектом иного назначения. Ведь даже место для Онкало выбрано не при доминировании геологического фактора, а по случаю соседства с АЭС Олкилуото. Вспомним как аналогию давний зарубежный опыт. В свое время сочетание инфраструктуры и хороших геологических (прежде всего, гидрогеологических) условий вмещающих массивов бывшего рудника «Конрад» (железная руда), бывших соляных шахт «Ассе» и «Морслебен» позволили Германии первой в мире прагматично и системно создать на базе этих природно-техногенных комплексов эффективные одноименные подземные хранилища радиоактивных отходов. Но, как тогда требовалось, лишь низкого и среднего уровня активности.

При необходимости «Норильский никель» и на равноудаленном от западных и восточных поставщиков Таймыре (почти идеальном регионе с точки зрения отсутствия выноса деструктивной энергии из глубин Земли, рис. 1, <http://e-almanac.space-time.ru/assets/files/Tom%203%20Vip%201/rubr6-estestvennye-granicy-st3-syvorotkin-2013.pdf>) найдет пригодные массив и/или готовые выработки для могильника, дополнительно изолированные покровом естественных многолетнемерзлых пород. Или «АПРОСА» – на Северо-Востоке России (к примеру, на одной из стадий поиска площадок

для изоляции ядерных отходов Северо-Запада РФ в качестве претендентов рассматривались трубки взрыва Архангельской области, кимберлитовые и базальтовые [2]). В Якутии есть и урановые месторождения, где, возможно, перспективным будет подход, аналогичный работам по подземной лаборатории и могильнику Краснокаменска.

Поэтому имеет смысл рассмотреть не замороженные приповерхностные известняки в качестве непосредственной среды захоронения (как предлагалось ВНИПИПТ для условий полигона Новой Земли), которые гидравлически связаны с морем (как грунты Фукусимы-1) и без глобального потепления превратятся в «газированное болото» под действием тепловых и радиационных нагрузок. А приличного инженерного качества породы с плюсовым температурным режимом под отдельной «шапкой» многолетней мерзлоты для дополнительной гарантии от проникновения метеорных вод. Вот ведь на Фукусиме-1 после более чем двух лет неудачных попыток предотвратить миграцию радиоактивной воды приняли решение применить достаточно освоенную в горной промышленности искусственную заморозку грунта вокруг и под АЭС. Правда, не надо скрывать, что, как говорится, здесь «две большие разницы». Горняки применяют конкретную систему заморозки локально и максимум на десятки лет, а с загрязнением прибрежных вод Японии и Тихого океана в предложенных ядерщиками очередных «неприятных» обстоятельствах придется бороться минимум сотни лет. И при таком интересе к вариантам использования мерзлоты вновь (как и в случае с Ю. Дублянским) полезным будет опыт спелеологов. Например, связанный с научными исследованиями в Кунгурской Ледяной пещере на протяжении ста лет.

Удачным для некоторых сценариев будущего ядерной энергетики может быть сочетание подземного могильника вблизи Норильска/Краснокаменска с наземным временным хранилищем и мощностями по переработке ОЯТ Красноярского ГХК. Фундаментальный международный могильник у Норильска дополнительно вместил бы отработавшее ядерное топливо и радиоактивные отходы Билибинской АЭС. Вместо того, чтобы обустроить вблизи этой АЭС (<http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/vestnik-1-2014.pdf>), подобно проекту могильника Новой Земли, опасное потенциально «радиоактивное болото» внутри многолетнемерзлых пород. Росатом и Норникель имеют опыт нахождения взаимных интересов на базе диверсификации производства (<http://baikalfinans.com/ekonomika/rosatom-i-nornikel-nahodyat-vzaimnyie-interesy-i-v-zabaykale.html>).

Печенгская структура по праву должна рассматриваться как уникальное геологическое (с комплексом других привлекательных для решения проблемы подземного ядерного могильника черт) место Кольского полуострова и России. Как научно-технологический полигон для международных объектов

MegaScience. Заметим, что даже по собственным отчетным данным Кольского НЦ РАН («Мурманский вестник» от 18 декабря 2012 г.; http://www.kolasc.net.ru/russian/news/arc13/science_innov2.pdf) и по федеральной статистике (<http://www.iep.kolasc.net.ru/resolution2014.doc>) за последние годы при множестве действительно интересных разработок инновации, рожденные кольской наукой, соответствуют наихудшему по РФ уровню, близкому к нулю. Печенга – непревзойденный стандарт степени геологической изученности (советский, ставший по наследству российским) и, возможно, качества породных массивов. Ствол Кольской сверхглубокой скважины служил как глубинная геофизическая лаборатория, позволявшая изучать различные геофизические поля. Может и в будущем послужит? Здесь (как нигде еще) даже граница мантии установлена точно, по данным геофизики и бурения (А. Жамалетдинов, <http://geoksc.apatity.ru/images/stories/Print/zh21.pdf>). На Мурмане расположена уникальная установка сверхнизкочастотного с поверхности зондирования и мониторинга земных недр «Зевс». С помощью этой установки уже проводился поиск мест для захоронения радиоактивных отходов (<http://www.rit.informost.ru/rit/3-2002/4.pdf>). И могут передаваться под землю ключевые команды в экстренной ситуации аналогично управлению АПЛ. При использовании других технических средств имеются предпосылки и беспроводного контроля этим методом подземного объекта и вмещающего массива изнутри (Е. Терещенко, <http://www.kolasc.net.ru/russian/news/vestnik/vestnik-1-2013.pdf>). Кольский полуостров называют «окошком» внутрь Земли. Здесь проводилось и будет проводиться глубинное электромагнитное зондирование и другими методами, при разных вариантах «Кольского зонда» (<http://www.igemi.troitsk.ru/emr/kola.html>). «Крайний» глобальный эксперимент - FENICS-2014 (<http://geoksc.apatity.ru/images/stories/Print/2-й%20циркуляр%20FENICS.pdf>).

Необходимо приветствовать попытки новых разносторонних исследований применительно к данной площади. Такая высокая планка подхода к знаниям о социальном, политическом, экономическом, экологическом, культурном и другим аспектам проблемы, о литосфере конкретного географического региона и критериям ее пригодности наиболее адекватна возникшей задаче. Задаче создания природно-техногенного объекта в недрах Земли, безопасно и никому не мешая существовать и самоорганизовываться после консервации который впервые в истории человечества должен не иначе как в координатах времени геологического и, возможно, всей дальнейшей жизни рода человеческого. Соответственно новой, экологической, функции литосферы. Настолько важной, что, если бы неандертальцы, кроманьонцы и другие древние люди имели рукотворный ядерный реактор, но не имели бы технологий надежного использования подземного пространства (науке известны природные ядерные реакторы

дочеловеческой эпохи в урановых месторождениях), то мы и сейчас должны были бы опасаться отходов «первобытной» ядерной отрасли.

Как только Россия примет положительное решение по Печенге в качестве площадки для международного ядерного могильника, в Европе (как минимум) возникнет очередь желающих участвовать в проекте, которые надолго забудут разговоры об антиросийских санкциях в защиту «арабских весен» по периметру РФ и планы относительно самих таких «весен». А Мурманская область станет наиболее защищенным и самым спокойным местом на Земле.

«Воздатите кесарева кесареви и божия богови»,
и «А король-то голый!»

Росатом многолик, но не всеобъемлющ. Ядерные могильники, например, справедливо, подчеркивая главную роль природных условий в долговременной защите, называют еще геологическими хранилищами. Геология – не профиль Росатома по определению. Не урановые объекты – тем более. Это отражается и в тематике дискуссий и на официальном, и на неофициальном российских уровнях. Преобладают устремления вперед: новые энергетические мощности, реакторы, топливные технологии. Проблемы «тыла» – демонтажа технических достижений, геологической изоляции отработавшего оборудования, топлива и наработанных отходов – не являются при этом любимыми. Когда же время принуждает все же делать в этом сегменте отрасли дело, начинаются далеко не безобидные «фокусы» с терминологией, правовым статусом и нормами безопасности (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4774>), переносом сроков. В итоге удобным по времени и финансированию оказывается погружение в пучину нереализуемых мечтаний о «Новом Атомном проекте», а неотложные задачи отрасли (включая геологическое захоронение) отодвигаются в сторону или выполняются абы как. При этом «неожиданно» зачастую выясняется, что реальные геологические процессы, экспериментальное изучение которых подменяется «высоконаучными» теоретическими расчетами «ядерных геологов» по части общих оценок (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4887>, комментарий Б. Серебрякова), приводят к неприятностям, которые на порядок более значимы, чем теоретически предсказанные.

Российская ядерная отрасль изолируется от комплексных знаний о Земле, от горно-геологической науки и практики в ее полноте, фактически пренебрегает мировым опытом. Проявляет готовность «свалить» отходы своей и чужой деятельности («в первую попавшуюся дыру»), решает сложную задачу примитивно по принципу «приятного во всех отношениях» Нижнеканского массива «под боком». Игнорирует факт развития и перспективы абиогенных

и сланцевых углеводородов. Как, кстати, и возможность энергетической революции, вероятно, на новой ядерной технологической платформе (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4921>). Вслед за сланцевой революцией и так же быстро по срокам начала. Тем самым она многопланово дискредитирует себя в глазах «просвещенного человечества». И рискует полностью потерять своих надежных сторонников широкого профессионального спектра, в том числе и среди специалистов в науках о Земле. Такой подход к делу далек от «культурного» обращения с ядерной энергией.

Немного о гранях «существования» проблемы. Меня часто подозревают в некомпетентности. Например, мне говорили: «Статьи по существу не геологические/не горных наук». Да, не геологические и не горные в устоявшихся традициях и правилах работы геологов и горняков. А «геологическое хранение ядерных материалов» – это горно-геологическая проблематика? Да, горно-геологическая. Тем не менее, по ряду исторических и политических причин «гражданские» геологи и горняки со всем их разносторонним опытом и методами исследований отстранены/самоустранились от этих дел. Хотя в начале «Атомного проекта» работами по массовым поискам урана, строительством подземных объектов значительно помогли Минатому и стране. Когда атомные энергетики сотворили при помощи «национального типа реактора» беду в Припяти, «рудознатцам» и «горщикам» выпало «врукопашную» бороться с «Китайским синдромом» под разрушенной активной зоной.

Сейчас же они находятся не в активной позиции, а на правах «гастарбайтеров» на вспомогательных (чтобы не дело сделать, а общественность формально успокоить) подрядных работах. Кто платит, тому и «танцуют» по заказу. Это ошибка. Я пыталась, хотя и неумело, поспособствовать исправлению дел, инициировать понимание того, что участие специалистов по Земле в таких исследованиях должно быть усилено. Во взаимодействии с ядерщиками, но без давления со стороны Росатома. А как и по каким направлениям? Ну, это уже дело этих специалистов «по существу»: понять задачи и определить свое место в строю. Думалось, что вот тут то и хороши были бы статьи «по существу геологические/горные», но не мои. Есть, конечно, исключения. Например, по части критического анализа принимаемых «ядерными геологами» решений (Ю. Дублянский) или собственных оригинальных предложений (В. Белоусов, С. Рычагов). Но таких примеров мало.

А пока, как мне кажется, даже в рамках специальной ядерно-горно-геологической тематики горняки/геологи и ядерщики существуют и предпочитают существовать в «разных параллельных мирах». Как обособились в своих мирах и другие части населения. Воспользуемся удачным применением термина О. Двойниковым по иному поводу из

ядерной сферы (<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4990>), но характеризующим общую картину российского общества. При этом, в одном из миров вкладывают большие деньги в навязчивый агрессивный пиар и саморекламу.

Но проблему утилизации ядерных отходов Росатому «культурно» не решить без консолидации усилий различных профессиональных и социокультурных групп. В том числе, не состоящих в штате госкорпорации представителей естественнонаучных и технических сообществ, а также гуманитариев по роду светских и религиозных занятий и образу жизни.

Благодарю за поддержку исследований профессора Brigitte Falkenburg.

Памяти советских геофизиков, работавших в Мурманской области, а также архангельского геолога Анатолия Федоровича Станковского посвящает автор статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Никипелов, Б.** Этика и диалектика в ядерной энергетике / Бюлл. по атомной энергии / ЦНИИ Атоминформ. – 2003, №10. – С. 7-14.

2 **Мельников, Н. Н., Конухин, В. П., Комлев, В. Н.** Материалы на основе минерального и техногенного сырья в инженерных барьерах для изоляции радиоактивных отходов. – Апатиты, 1998, Изд. Кольского НЦ РАН. – 94 с.

3 **Komlev, V. N.** Native Nuclear Programmes, Generation's Responsibility, Regional Geological Experience and Site Selection for Underground Disposal of Potentially Super-Dangerous Materials // Industrial Minerals: Deposits and New Developments in Fennoscandia. – Petrozavodsk, 1999. – P. 150-153. // Living Arctic. – 1999, No 1(11). – P. 34-43. (In Russian).

*Здесь полностью по форме и составу приведена библиографическая информация относительно публикаций на печатных бумажных носителях, не имеющих электронных дублей. Практически нет смысла и возможности аналогично представить информацию по множеству (около 150) ссылок на источники в Интернет. Поэтому относительно электронных изданий непосредственно в тексте приведены лишь их адреса.

Технический университет, Дортмунд, Германия.
Материал поступил в редакцию 19.09.14.

Е. В. Комлева

Ядролық қалдықтар мәселесінің антропоэкологтік аспектілері

Техникалық университет, Дортмунд, Германия.
Материал 19.09.14 баспаға түсті.

Е. Комлева

Anthropo-social aspects of the nuclear waste problem

TU Dortmund University, Germany.
Material received on 10.09.14.

Ядролық энергияның феноменінің бірқатар антропоэкологтік аспектілері қарастырылған. Олар Красноярск маңындағы ядролық қалдықтарды халықаралық жер асты молаларын құрудың бірінші талпынысына байланысты. Осы байланыспен сәйкестендірудің кейбір мәселелері бағаланды.

There are considered some anthropo-social aspects of the nuclear energy phenomenon. They refer to the first attempt of constructing an international underground repository for nuclear materials near Krasnoyarsk. There are mentioned some problems identified by this connection.

УДК 621.39

Б. З. Калиев*, Г. М. Садвокасова, А. У. Габдулов****

О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

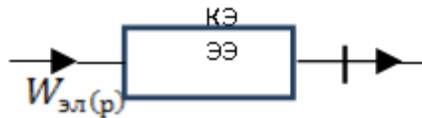
Рассмотрен процесс преобразования энергии одного вида в другой. Показана взаимосвязь между механическим и электромагнитным моментами. Выявлены основные закономерности в энергетическом преобразователе и их основные свойства. Предложен подход и метод оптимального управления энергетическим преобразователем с точки зрения быстродействия.

Технологический процесс производства и передачи электроэнергии взаимосвязан со многими другими процессами промышленности, транспорта и других отраслей жизнедеятельности.

На всех этапах и звеньях этой системы энергия одного вида преобразуется в другую. Так, на тепловых электрических станциях химическая энергия топлива, в конечном счете, преобразуется в электрическую энергию. На гидростанциях энергия падающей воды также преобразуется в электрическую энергию. Не являются исключением процессы в нетрадиционной и возобновляемой энергетике.

Рассмотрим традиционные системы получения электрической энергии. В паровых и гидравлических турбинах кинетическая энергия пара и воды преобразуется в механическую, а затем в генераторах в электрическую.

Совокупность устройств и аппаратов между начальным и конечным стадиями процесса можно определить, как электрический преобразователь (рис. 1) с некоторой передаточной функцией $W_{эл}(p)$:



где КЭ, ЭЭ – кинетическая и электрическая энергия;

$W_{эл}(p)$ – передаточная функция преобразователя.

Последнее представляет собой:

$$W_{эл}(p) = W_n(p) W_r(p), \quad (1)$$

где $W_n(p)$ и $W_r(p)$ передаточные функции турбины и генератора.

Очевидно передаточная функция должна учитывать характеристики различных устройств автоматики – скорости, возбуждения и т.п.

Взаимосвязь между механическим и электромагнитным моментом, как известно, определяется уравнением относительного движения ротора генератора, то есть:

$$T_y \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_t - M_r, \quad (2)$$

где M_t момент турбины механический; M_r электромагнитный момент; ω скорость вращения агрегата.

Момент турбины характеризует кинетическую энергию на выходе турбины, электромагнитный момент электрическую энергию.

Для измерения небольших скоростей ω уравнение (2) примет вид:

$$T_y \cdot \frac{d\Delta\omega}{dt} = \Delta M, \quad (3)$$

$\Delta\omega$, ΔM – изменение момента и скорости вращения всего агрегата.

Далее, используя известные соотношения для момента, мощности и электроэнергии, несложно показать, что преобразование энергии одного вида в другой возможно только при относительном движении материи – энергетической субстанции.

Представим, что инерциальные свойства энергетического преобразователя незначительны. Соответственно процесс преобразования энергии будет протекать с большой скоростью. Тем самым можно достичь значительного быстродействия в управлении режимными параметрами. В действительности процесс преобразования кинетической энергии протекает в функции времени.

Рассмотрим изменение мощности (энергии) на входе и выходе преобразователя. При неучете динамических процессов кинетическая энергия на входе пропорциональна открытию задвижки. На выходе турбины она также определяется скоростью вращения турбины:

$$M_{\text{мех}} = \varphi(\kappa, \omega) \quad (4)$$

В практике эксплуатации энергосистем часто требуется быстрое изменение электрической мощности – покрытие дефицита мощности, сохранение устойчивости режима и т.п. Однако физико-технические свойства энергоносителей, как – то расширение объема пара, гидравлический удар при быстром изменении положения задвижек препятствует безинерционному процессу. Кроме того необходима дополнительная мощность для придания ускорения ротору генератора. Резкое изменение режима на выходе преобразователя электрической мощности частично можно достичь посредством соответствующего регулирования возбуждения. Однако и здесь имеются определенные ограничения.

Рассмотрим соотношения между механическим и электромагнитным моментами и приращениями кинетической энергии при изменении скорости вращения агрегата турбина – генератор.

Для ротора генератора изменение энергии при изменении скорости вращения:

$$\Delta A = \int \frac{\Delta P d\delta}{\omega_*} \text{ иначе } A = \frac{T_y}{2} (\omega_*^2 - 1), \quad (5)$$

где ω_* скорость вращения в относительных единицах по отношению к синхронной.

$$\text{Подставив в выражение (5) } \omega_* = 1 + \frac{\Delta\omega_*}{\omega_0} \quad (6)$$

$$\text{получим } A = \frac{T_y}{2} (\Delta\omega_*^2 + 2\Delta\omega_*),$$

$$\text{откуда } \omega_* = \sqrt{\frac{T_y}{z} \int \Delta P d\delta}, \quad (7)$$

Для турбины изменение энергии, обусловленное изменением нагрузки генератора:

$$\Delta A = \int \Delta P dt \quad (8)$$

Соответственно изменение скорости вращения турбины определяется:

$$\Delta\Omega = \sqrt{1 + \frac{2}{T_y}} \int \Delta P \cdot dt \quad (9)$$

Анализ соотношений (7) и (9) определяет взаимное изменение скорости турбины и генератора. При этом изменение скорости требует дополнительной кинетической энергии для ускорения ротора. Возможной реализацией может быть введение в демпферные обмотки контура подмагничивания.

Опережающее воздействие на регуляторы скорости может быть реализовано повышением чувствительности системы управления по определенным параметрам.

Соотношения между механическим и электромагнитным моментами изучает электромеханика. Это учение о теории электромеханических преобразователей энергии (ЭМП), (электрические машины, электропривод).

Электромеханические преобразователи энергии принципиально представляют собой системы материальных точек (частиц) и твердых тел. В силу этого к ЭМП в равной мере применим термин «электромеханическая система».

ЭМП – обширный класс устройств, в которых преобразование механической энергии в электрическую или наоборот является главной стороной изучаемого вопроса.

Как следует из сказанного выше, электромеханика представляет собой пограничный раздел между теорией электромагнитных явлений и механикой. Таким образом, электромагнитная сила оказывается функцией механических величин – скорости и положения тела в пространстве. Поэтому «разделить» систему уравнений, описывающих состояние ЭМП, на чисто электрическую или механическую части не представляется возможным. Наиболее общий подход к решению задач электромеханики (в указанном смысле этого понятия) состоит в рассмотрении тела, несущего ток или заряд, в электромагнитном поле. Это может быть сделано с помощью основных уравнений электродинамики -уравнений электромагнитного поля Максвелла. Однако необходимость определения граничных условий при решении этих уравнений делает такой подход достаточно сложным даже в простейших случаях.

Поэтому предпочтительней исходить из возможности представления любого ЭМП в виде «совокупности» электрических и магнитных цепей с сосредоточенными параметрами. Это оказывается допустимым, вследствие «малых» скоростей протекания физических процессов и «низких» частот изменения величин. Указанное позволяет формулировать динамические уравнения движения на основе параметров, определенных из расчета статических (квазистатических) полей.

Одной из базовых составляющих решения проблемы эффективного потребления электроэнергии является комплексное широкомасштабное внедрение силовой электроники. Последние достижения в области технологии позволяют создавать универсальные силовые модули и делают

актуальной задачу создания на основе модульного принципа сложных преобразовательных систем. Использование агрегатно-модульного принципа построения сложных систем из ограниченной номенклатуры функциональных агрегатов во многих областях техники является перспективным направлением на базе модульной силовой электроники. Приведем некоторые подходы к созданию и реализации адаптивных систем электроснабжения на основе агрегированных преобразователей частоты.

Агрегатно-модульный принцип может быть с успехом использован при построении систем электроснабжения потребителей электроэнергией с параметрами, отличными от общепромышленных. Речь идет о преобразовательных системах, обеспечивающих, в частности, электроснабжение на повышенных частотах. Практическая ситуация, в которой, например, возникает подобная задача, состоит в необходимости обеспечения электроснабжения общей нагрузки большой номинальной мощности $P_{ном}$ средствами имеющейся группы преобразовательных модулей, вообще говоря, разных мощностей, сумма которых превышает требуемую. Отметим следующие преимущества модульных преобразовательных систем (ПС):

- адаптация установленной мощности под текущую мощность нагрузки за счет гибкости, берущей начало из перестраиваемой;
- надежность, благодаря избыточности модулей. Наличие резерва позволяет проводить обновление, ремонт модулей без прерывания электроснабжения;
- снижение себестоимости оборудования, так как стандартизированные агрегаты серийно поставляются;
- уменьшение инвестиций в незагруженную мощность по сравнению с альтернативной архитектурой на основе единичного преобразователя большой мощности.

На рис. 2 представлен вариант функциональной схемы модульной ПС с варьированием числа агрегатов в зависимости от величины и характера нагрузки. Данная стратегия позволяет менять установленную мощность системы адекватно мощности потребителей. При этом за счет отключения модулей при равномерном распределении времени работы между всеми агрегатами достигается увеличение рабочего ресурса всей ПС. Это увеличение тем больше, чем больше недогрузка системы при включении всех агрегатов.

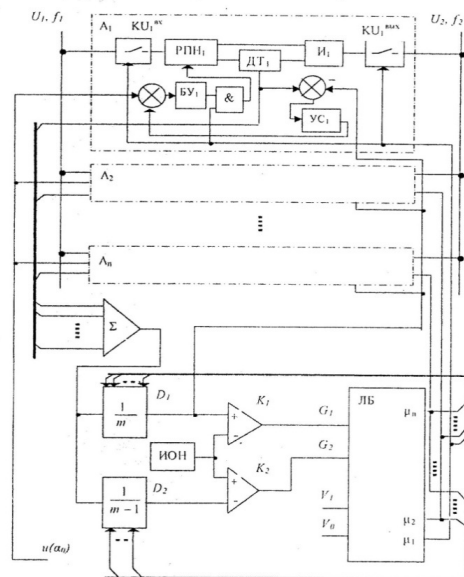


Рисунок 2 – Модульная преобразовательная система с варьированием числа агрегатов в зависимости от величины и характера нагрузки.

Первой задачей при организации адаптивных систем электроснабжения (АСЭ) с варьированием числа модулей является обеспечение загрузки работающих преобразователей пропорционально их номинальным мощностям.

Инверторные части преобразователей выполнены по схеме инвертора тока. Заданное распределение мощностей может быть достигнуто соответствующим распределением токов, потребляемых инверторами. В качестве управляемых вентилях используем тиристоры. При асимметрии загрузки инверторных блоков в разложении входного тока группового преобразователя появляются четные гармоники.

Групповые преобразователи, собранные по рассмотренной схеме, были внедрены на ряде подшипниковых заводах. На их основе осуществлялось многолетнее надежное электроснабжение цехов на повышенных частотах.

Ещё одним преимуществом агрегатно-модульного подхода при построении адаптивных систем электроснабжения является возможность улучшения энергетических показателей за счет различных структурных компоновок модулей. Подобное агрегирование можно считать синтезом при условии, если оно ведет к достижению определенной цели.

ВЫВОД: любой электромеханический преобразователь можно представить в виде «совокупности» электрических и магнитных цепей с сосредоточенными параметрами и сформулировать динамические уравнения движения на основе параметров, определенных из расчета статических (квазистатических) полей.

Применение агрегатно-модульного подхода при построении адаптивных систем электроснабжения улучшит энергетических показатели за счет различных структурных компоновок модулей. Подобное агрегирование можно считать синтезом при условии, если оно ведет к достижению определенной цели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Попков, О. З.** Основы преобразовательной техники: учеб. пособие для студ. вузов. -2-е изд., стер. – М. : Изд. Дом МЭИ, 2007. – 200 с.
- 2 **Суднов, А. И.** Качество электрической энергии и энергосервис.
- 3 Нетрадиционные источники энергии. Учебное пособие. Тлеуов А.Х.УМК Фолиант: – Астана, 2009. – 248 с.
- 4 **Шмитц, Н., Новотный, Д.** Введение в электромеханику. – М. : Мир, 1969.
- 5 **Сили, С.** Электромеханическое преобразование энергии. – М. : Энергия, 1968.
- 6 **Уайт, Л. С., Вудсон, Г. Х.** Электромеханическое преобразование энергии. – М-Л. : Энергия, 1964.
- 7 **Наумов, А. Л., Жигоцкая, Н. И., Лузик, Э. В.** Аналитическая электромеханика. – Киев : Изд. Киевского ун-та, 1974.
- 8 Промышленные роботы агрегатно-модульного типа. Е.И. Воробьев, Ю.Г. Козырев.
- 9 В. И. Царенко: под общей редакцией Е.П. Попова – М. : Машиностроение. – 1988.
- 10 **Кантер, И. И., Томашевский, Ю. Б., Голембиовский, Ю. М.** Система централизованного электроснабжения на базе параллельно работающих преобразователей частоты // Электричество. – 1991.
- 11 **Томашевский, Ю. Б., Голембиовский, Ю. М., Пятницын, В. Н.** Модульный принцип организации как основа гибких преобразовательных систем // Техническая электродинамика. Тематичний выпуск. – Ч.1. – 2000.

*Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова;

**Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 18.09.14.

B. Z. Kaliev, G. M. Sadvokasova**, A. U. Gabdulov***

Энергетикалық түрленудің кейбір сипаттары туралы

*С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті;

**Инновациялық Еуразиялық университеті, Павлодар қ.
Материал 18.09.14 баспаға түсті.

B. Z. Kaliev, G. M. Sadvokasova**, A. U. Gabdulov***

Some characteristics of the energy converters

*S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

**Innovative university of Eurasia, Pavlodar.

Material received on 18.09.14.

*Энергия түрлендіру процесі қарастырылған. Механика және
электрмагнитты кезеңдіктердің байланысы көрсетілген. Энергия
түрлендіру түрлендіргіштердің үйлесімді басқару жолы ұсынылған.*

*The process of converting one form of energy into another is
considered.*

*Illustrated the relationship between the mechanical and electromagnetic
moments. The main regularities identified in the energy converter and their
basic properties. Proposed the approach and method for optimal control
of the power converter in the terms of performance.*

УДК 621.32

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

**ОЦЕНКА СРЕДНИХ И ДЕЙСТВУЮЩИХ ЗНАЧЕНИЙ
ТОКА, МОЩНОСТИ СТАТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ НА
ЭТАПАХ КОММУТАЦИИ ИНВЕРТОРА С ШИРОТНО-
ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

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

Анализ систем автономного электроснабжения от возобновляемых источников энергии (ВИЭ) показывает, что для полного покрытия пикового потребления необходимы ветрогенераторы или фотопреобразователи с избыточной мощностью. Учитывая, что 2-3 кратное увеличение единичной мощности ВИЭ приводит соответственно к аналогичному увеличению стоимости.

Так как пиковое потребление удвоенной мощности, в общей сложности занимает не более 4 часов (усреднённое двойное потребление) [1]. В ночное же время, когда электричество особенно дешёво (при 2-х тарифной системе), подведённые электрические мощности практически не используются.

Возможность разнести во времени производство и потребление электроэнергии путем ее накопления в больших масштабах – один из наиболее эффективных путей решения проблемы покрытия пиков потребления. Однако, для аккумуляции электрической энергии нужны накопители, являющиеся важнейшим элементом будущих активно-адаптивных сетей, а для преобразования постоянного напряжения аккумуляторов в переменное синусоидальное напряжение – инверторы [2].

В статье [2] авторами выбрана и обоснована наиболее оптимальная топология инвертора.

Для управления 3L-схемой [2] используется ШИМ с двумя синфазными опорными сигналами (рис. 1).

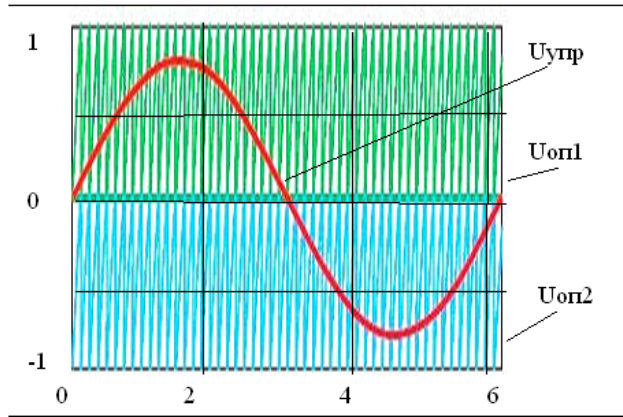


Рисунок 1 – Напряжение управления и синфазные опорные сигналы

Для данного вида ШИМ на интервалах переключения транзистора Т1 коэффициент регулирования определяется выражением:

$$D(\theta) = m \cdot \sin\theta \quad (1)$$

При индуктивном характере нагрузки ток в выходной цепи модуля имеет синусоидальную форму и отстает по фазе от напряжения. В результате на периоде выходной частоты в трехуровневой схеме последовательно реализуются четыре контура коммутации [3]:

• при положительном выходном напряжении и положительном токе нагрузки (рис. 2);

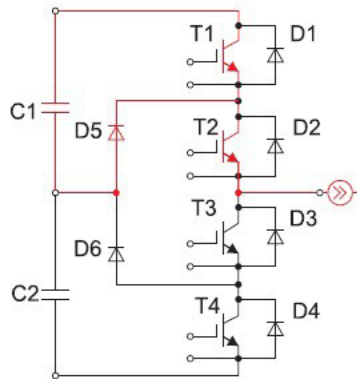


Рисунок 2 – Первый контур коммутации

• при положительном выходном напряжении и отрицательном токе нагрузки (рис. 3);

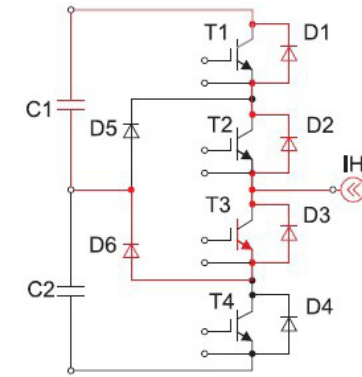


Рисунок 3 – Второй контур коммутации

• при отрицательном выходном напряжении и отрицательном токе нагрузки (рис. 4);

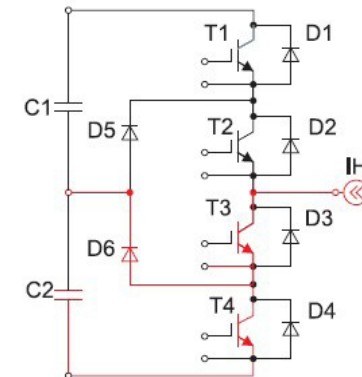


Рисунок 4 – Третий контур коммутации

• при отрицательном выходном напряжении и положительном токе нагрузки (рис. 5).

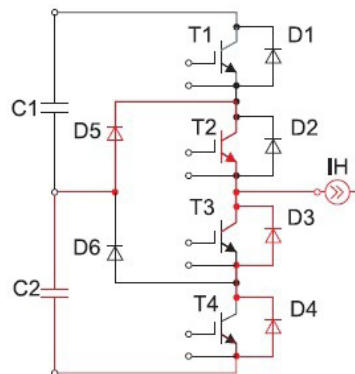


Рисунок 5 – Четвертый контур коммутации

В первом и третьем контурах в процессе коммутации участвуют два полупроводниковых элемента. Данные контуры охватывают относительно малую площадь и называются «короткими» контурами коммутации.

Во втором и четвертом контурах в процессе коммутации участвуют уже четыре полупроводниковых элемента [4, 5]. Данные контуры охватывают примерно вдвое большую площадь и называются «длинными» контурами коммутации.

В таблице 1 представлены интервалы коммутаций, выраженные в радианах, и относительные длительности проводящего состояния полупроводниковых элементов модуля, расположенных сверху от силового вывода точки фазы.

Таблица 1 – Интервалы коммутаций и относительная длительность проводимости ключевых элементов трехуровневой схемы

Ключ	Интервал коммутаций	Длительность проводимости
T1	$\varphi - \pi$	$D(\Theta) = m \cdot \sin \Theta$
D1	$0 - \varphi$	$D(\Theta) = m \cdot \sin \Theta$
T2	$\varphi - \pi$	1
T2	$\pi - (\pi + \varphi)$	$1 + D(\Theta) = 1 + m \cdot \sin \Theta$
D2	$0 - \varphi$	$D(\Theta) = m \cdot \sin \Theta$
D5	$\varphi - \pi$	$1 - D(\Theta) = 1 - m \cdot \sin \Theta$
D5	$\pi - (\pi + \varphi)$	$1 + D(\Theta) = 1 + m \cdot \sin \Theta$

Ввиду симметричности схемы, полупроводниковые элементы, расположенные снизу от точки фазы, будут иметь те же параметры

проводимости, однако интервалы коммутаций для данных ключей будут сдвинуты на π радиан.

При данных параметрах проводимости для каждого полупроводникового элемента могут быть рассчитаны значения средних и действующих токов, а также потери проводимости.

Силовые IGBT транзисторы T1 и T4

Среднее значение тока:

$$I_{срT1} = I_{срT4} = I_{н max} \frac{m}{4\pi} [(\pi - \varphi) \cos \varphi + \sin \varphi]. \quad (2)$$

Действующее значение тока:

$$I_{dT1} = I_{dT4} = I_{н max} \sqrt{\frac{m}{4\pi} \left[1 + \frac{4}{3} \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]}. \quad (3)$$

Средняя мощность потерь проводимости:

$$P_{прT1} = P_{прT4} = \frac{m}{4\pi} I_{н max} V_T [(\pi - \varphi) \cos \varphi + \sin \varphi] + \frac{m}{4\pi} I_{н max}^2 R_{CE} \left[1 + \frac{4}{3} \cos \varphi + \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]. \quad (4)$$

Силовые IGBT транзисторы T2 и T3

Среднее значение тока:

$$I_{срT2} = I_{срT3} = I_{н max} \frac{m}{4\pi} \left[\frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \right]. \quad (5)$$

Действующее значение тока:

$$I_{dT2} = I_{dT3} = I_{н max} \cdot \sqrt{\frac{m}{4\pi} \left[\frac{\pi - m}{m} + \frac{4}{3} \cos \varphi - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]}. \quad (6)$$

Средняя мощность потерь проводимости:

$$P_{прT2} = P_{прT3} = \frac{m}{4\pi} \cdot I_{н max} \cdot V_T \cdot \left[\frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \right] + \frac{m}{4\pi} I_{н max}^2 R_{CE} \left[\frac{\pi - m}{m} + \frac{4}{3} \cos \varphi - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]. \quad (7)$$

Высоковольтные диоды FRD D5 и D6

Среднее значение тока:

$$I_{срD5} = I_{срD6} = I_{н max} \frac{m}{4\pi} \cdot \left[\frac{4}{m} + \varphi \cdot \cos\varphi - \sin\varphi \right]. \quad (8)$$

Действующее значение тока:

$$I_{дD5} = I_{дD6} = I_{н max} \sqrt{\frac{m}{4\pi} \cdot \left[\frac{\pi - m}{m} - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]}. \quad (9)$$

Средняя мощность потерь проводимости:

$$P_{прD5} = P_{прD6} = \frac{m}{4\pi} \cdot I_{н max} \cdot V_F \cdot \left[\frac{4}{m} - \frac{\pi - 2}{\pi} \cos\varphi - \frac{2}{\pi} \sin\varphi \right] + \frac{m}{4\pi} I_{н max}^2 R_{AK} \left[\frac{\pi - m}{m} - \frac{1}{3} \cos(2\varphi) \right]. \quad (10)$$

Высоковольтные шунтирующие (обратные) FRD диоды D1, D2, D3 и D4

При индуктивном характере нагрузки и значениях коэффициента мощности $\cos\varphi = 0,8$ обратные диоды проводят ток на относительно коротких интервалах периода выходной частоты [4]. Поэтому потери проводимости в данных диодах составляют не более 10-12% от потерь в соответствующих транзисторных элементах.

Поскольку напряжение на ключевых элементах модуля в 3L-схеме вдвое меньше, в конструкции модуля используются полупроводниковые кристаллы транзисторов и диодов с максимальным напряжением 1200 В. Данные чипы изготавливаются на подложках с меньшей толщиной базового слоя и имеют меньшие значения напряжений отсечки и дифференциальных сопротивлений на участках проводимости по сравнению с кристаллами на 1700 В.

Типовыми параметрами аппроксимации вольт-амперной характеристики (ВАХ) высоковольтных (1200 В) силовых IGBT транзисторов и диодов FRD (1200 В) являются:

- напряжение отсечки транзистора $V_T = 1,5$ В;
- дифференциальное сопротивление транзистора $R_{CE} = 10$ мОм;
- напряжение отсечки диода $V_F = 1,5$ В;
- дифференциальное сопротивление диода $R_{AK} = 8$ мОм.

Рассчитанные значения токов и средняя мощность статических потерь для ключевых элементов модуля приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Средние и действующие значения токов ключевых элементов модуля

Параметр	Среднее значение тока, А			Действующее значение тока, А		
	T1 и T4	T2 и T3	D5 и D6	T1 и T4	T2 и T3	D5 и D6
Значение	16,6	31,3	31,2	37,2	49,8	42,5

Таблица 3 – Мощность статических потерь в ключевых элементах модуля

Параметр	Средняя мощность потерь проводимости, Вт					
	T1 и T4	T2 и T3	D1 и D4	D2 и D3	D5 и D6	
Значение	38,7	71,6	3,9	7,2	63,4	

В таблице 4 показана суммарная мощность динамических и статических потерь в элементах 3L-модуля.

Таблица 4 – Суммарная мощность потерь в ключевых элементах модуля

Параметр	Суммарная мощность потерь P_{Σ} , Вт					
	T1 и T4	T2 и T3	D1 и D4	D2 и D3	D5 и D6	
Значение	155,9	71,6	3,9	7,2	68,8	

Выводы:

Выполненный анализ и проведенные исследования показали, что для достижения наибольшей энергетической эффективности систем преобразования энергии для энергетики приемлемы несколько путей, наиболее важными из которых можно отметить следующие:

1) Использование многоуровневых полупроводниковых преобразователей в системах преобразования большой мощности с напряжениями от единиц до десятков киловольт;

2) Использование параллельного соединения полупроводниковых преобразователей для повышения установленной мощности системы;

3) Применение эффективных алгоритмов управления, позволяющих полупроводниковым преобразователям работать в режимах с наилучшими показателями качества;

4) Использование многоуровневых преобразователей позволяет достичь наибольшей энергоэффективности за счет повышения качества преобразования электрической энергии, снизить массу, габариты и стоимость фильтров в цепях переменного тока. Кроме того, многоуровневые преобразователи позволяют использовать полупроводниковые приборы с меньшим классом по напряжению, соответственно и стоимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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

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

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

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 18.09.14.

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

Орташа және әсерлік мәндер ток бағалауы, қуаттың статикалық ысыраптардың керілеуіштер коммутациясы кезеңінде электр жабдықтау жүйелерімен жаңғыртылатын қуат көзі анықтады

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 18.09.14 баспаға түсті.

A. B. Kaidar, B. K. Shapkenov, V. P. Markovsky

The average and rms values of the current, power of static loss on the levels of inverter switching with pulse-width modulation in the power supply systems with renewable energy sources

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 18.09.14.

Мақалада атқарылған орташа және әсерлік мәндер ток бағалауы жасалды, қуаттың статикалық ысыраптардың керілеуіштер коммутациясы кезеңінде электр жабдықтау жүйелерімен жаңғыртылатын қуат көзімен анықтама жасалған.

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

УДК 621.32

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНВЕРТОРА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

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

Для преобразования энергии постоянного напряжения, вырабатываемой, например, фотопреобразовательными установками в энергию переменного тока, применяют инверторы. От топологии инвертора [1, 2], принципиальной схемы [3, 4], параметров коммутирующих элементов [5], элементной базы, зависит экономичность и надежность инвертора на силовых биполярных IGBT транзисторах с изолированным затвором (Insulated-Gate Bipolar Transistor) и быстровосстанавливающихся FRD диодах (Fast Recovery Diode) (см. предыдущую статью в этом же номере Вестника ПГУ).

Эквивалентная схема модуля инвертора с распределенной индуктивностью проводников показана на рис. 1. На данной схеме индуктивность проволочных соединений контактных площадок кристаллов транзисторов и диодов с основанием DBC-платы (*Direct Bond Copper – прямая медная металлизация* на керамической подложке путем спекания) показана синим цветом, суммарная индуктивность ленточных перемычек и медных дорожек керамических плат – красным, а индуктивность силовых терминалов – зеленым. При подключении модуля к силовым конденсаторам

питания суммарная паразитная индуктивность в коротком и длинном контуре коммутации для интегральной конструкции модуля составила 123 и 130 нГн соответственно.

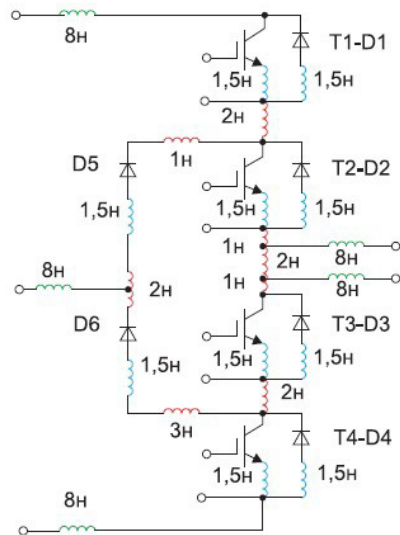
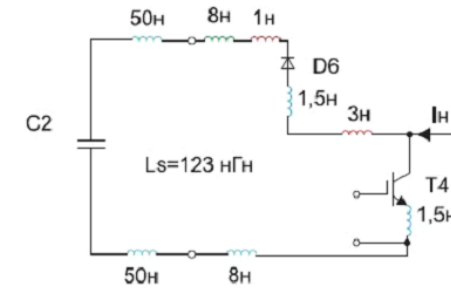


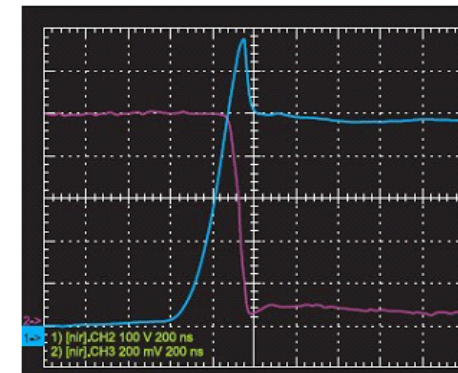
Рисунок 1 – Эквивалентная схема модуля инвертора с паразитными индуктивностями

Таким образом, интегральная конструкция модуля позволила обеспечить существенное выравнивание величин паразитных индуктивностей монтажа для несимметричных контуров коммутации.

Данный факт подтвержден экспериментальными исследованиями. На рис. 2,б и 2,б представлены осциллограммы переходного процесса выключения силовых транзисторов в «коротком» и «длинном» контуре коммутации при выходном напряжении 1000 В и амплитуде коммутируемого тока 100 А.

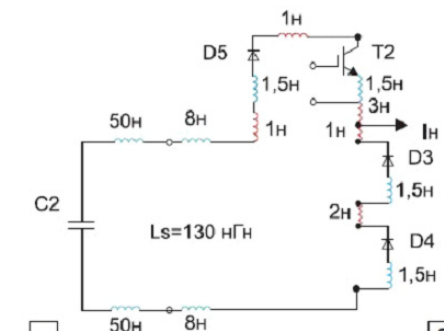


а)

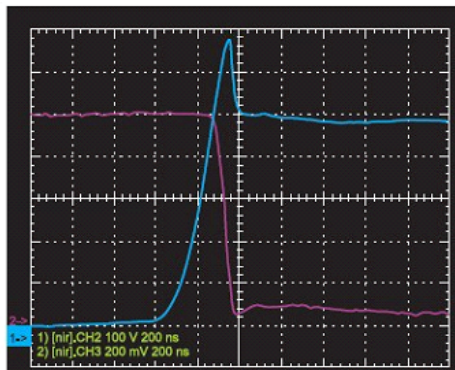


б)

Рисунок 2 – Для «короткого» контура модуля: а) распределенная паразитная индуктивность; б) переходный процесс коммутации (I_k – 20 А/дел; U_k – 100 В/дел; t – 200 нс/дел)



а)



б)

Рисунок 3 – Для «длинного» контура модуля инвертора:

а) распределенная паразитная индуктивность;

б) переходный процесс коммутации (I_k - 20 А/дел; $U_{кз}$ - 100 В/дел; t - 200 нс/дел)

На рис. 4 представлена зависимость амплитуды перенапряжений, измеренных в несимметричных контурах коммутации, от тока нагрузки.

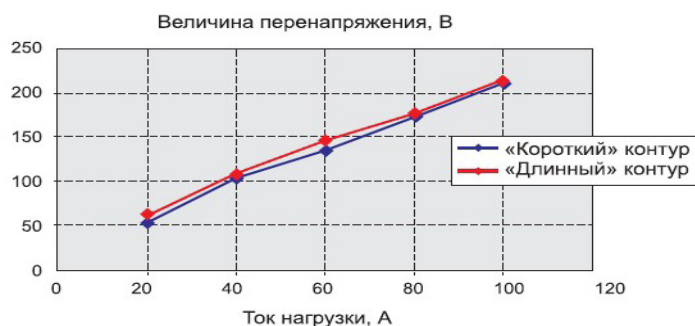


Рисунок 4 – Зависимость амплитуды перенапряжения в контурах коммутации модуля от тока нагрузки

На рис. 5 показаны осциллограммы переключения напряжения и тока в силовом модуле для одного из циклов коммутаций при работе на индуктивную нагрузку, а также выделяющаяся при этом мгновенная мощность тепловых потерь.

Результаты моделирования температурных полей для рассматриваемой конструкции модуля (рис. 6) показали, что в периферийных областях полупроводниковых чипов температура существенно меньше, чем в центре. При этом почти 80% перепада температуры между кристаллом и средой приходится на керамический слой DBC-плат и слой пасты между основанием модуля и охладителем.

Одним из важнейших параметров конструкции является тепловое сопротивление «чип-среда», которое зависит, в частности, от геометрических параметров полупроводникового кристалла. Измеренные значения температуры полупроводниковых элементов инвертора показали, что температурный режим работы полупроводников лежит в допустимых пределах. Максимальный перегрев полупроводниковых элементов модуля инвертора ΔT при рассчитанных суммарных тепловых потерях РЗ представлен в таблице 6.

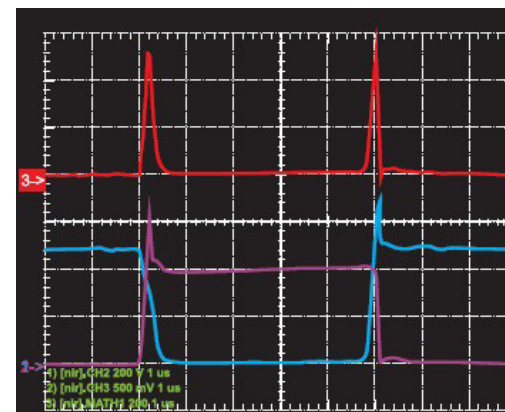


Рисунок 5 – Переходные процессы в силовом модуле при работе на индуктивную нагрузку (I_k - 50 А/дел; $U_{кз}$ - 200 В/дел; t - 1 мкс/дел; P - 20 кВт/дел)

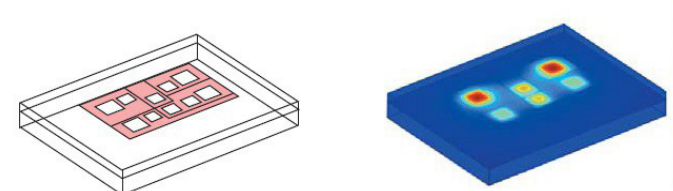


Рисунок 6 – Температурное поле в конструкции силового модуля инвертора: заметно нагреты транзисторы T1 и T4 по сравнению с транзисторами T2 и T3

Таблица 6 – Температурный перегрев полупроводниковых элементов модуля инвертора

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

Полное тепловое сопротивление «полупроводниковый прибор-среда» для транзистора при этом составляет 0,2 °C/Вт, а для диода – 0,35 °C/Вт.

Выводы:

1) Проведенные экспериментальные исследования работы инвертора на силовых IGBT-модулях с аккумуляторным накопителем энергии показали его высокую надежность как в установившихся, так и переходных режимах.

2) Рассмотрены основные электрические и тепловые характеристики устройства. Определенные мощности потерь в силовых элементах модуля в нормальном и в 1,25-ном режиме перегрузки не вызывают перегрев IGBT-транзисторов.

3) Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что суммарные динамические и статические потери в 3L силовом модуле на частоте 25 кГц в полтора раза меньше, чем для модуля двухуровневой конфигурации. При увеличении частоты коммутации до 30 кГц выигрыш по суммарным потерям практически удваивается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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

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

5 Кислов, А. П., Темирханов, Е. У., Кайдар, А. Б., Иванова, Е. В., Шапкенов, Б. К., Марковский, В. П. Инверторы на 220 в на Trench

IGBT-транзисторах 6 и 7 поколения для солнечных батарей. – Материалы международной научно-теоритической конференции «VI Торайгыровские чтения» посвященные 120-летию С. Торайгырова, Т1. – С. 325-332.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 02.10.14.

А. Б. Кайдар, В. С. Копырин, Б. К. Шапкенов, В. П. Марковский
**Электр жабдықтау жүйелер ендік-импульстік керілеуіш
модуляциясымен тәжірибелік зерттеулер жаңғыртылатын қуат көзімен
бірге**

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 02.10.14 баспаға түсті.

A. B. Kaidar, V. S. Kopyrin, B. K. Shapkenov, V. P. Markovsky
**Pulse-width modulation inverter's experimental studies in power supply
system with renewable energy sources**

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 02.10.14.

*Мақалада электр жабдықтау жүйелер ендік-импульстік керілеуіш
модуляциясымен тәжірибелік зерттеулер жаңғыртылатын қуат
көзімен бірге сұрақтар шешілді.*

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

А. Б. Кайдар, В. Ф. Говорун, Б. К. Шапкенов

ПРОБЛЕМА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНИЙ И ВСТАВОК ПОСТОЯННОГО ТОКА

Статья посвящена проблеме применения линий и вставок постоянного тока для осуществления внутренних и трансграничных связей для энергетики Казахстана.

В настоящее время электрические станции Казахстана обладают потенциалом по мощности, способным полностью обеспечить собственную потребность, но в силу сложившейся схемы сетей и рыночной конъюнктуры Южный и Западный регионы импортируют электроэнергию и мощность.

Потенциал существующих межгосударственных электрических сетей Северного, Южного и Западного регионов, по сумме показателей получения, обмена и передачи транзитных межгосударственных потоков электроэнергии, оценивается величиной порядка 30 млрд. кВтч в год. В 1990 году, при параллельной работе Северного и Западного регионов в составе ЕЭС СССР, а Южного – в составе ОЭС Средней Азии, эти потоки достигли практически номинального использования сети и составили около 28 млрд. кВтч.

Однако, увеличивающийся рост электропотребления ставит перед энергетикой Казахстана две проблемы. Во-первых, необходима реконструкция существующего парка производителей электрической энергии, линий электропередач (ЛЭП) и коммутационной аппаратуры, во-вторых, строительство новых электростанций.

В Национальной энергетической системе Казахстана (сети 220 – 500 кВ), находящейся под управлением АО «KEGOC» при государственной поддержке уже в течение многих лет выполнялся Проект модернизации национальной электрической сети Казахстана.

Финансирование проекта осуществляется за счет кредитных линий Международного банка реконструкции и развития (МБРР), Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР) и собственных средств KEGOC. На начальном этапе проект предусматривал модернизацию высоковольтного оборудования подстанций (замену выключателей, разъединителей и трансформаторов напряжения, трансформаторов тока, ограничителей перенапряжения, опорных изоляторов и аккумуляторных батарей). Вместе с тем предусматривалась установка шунтирующих реакторов для компенсации реактивной мощности. Кроме того, предполагалась замена традиционных

средств релейной защиты практически на всех подстанциях, находящихся в собственности KEGOC, на современные средства релейной защиты, основанные на микропроцессорной технологии, а также намечалась и автоматизация подстанций с установкой системы SCADA для осуществления централизованного управления и контроля над работой электрических сетей KEGOC.

Сейчас KEGOC реализует очередной этап проекта. Реализация этого этапа повысит энергобезопасность страны, обеспечит повышение устойчивости работы национальной энергетической системы (НЭС) Казахстана, а также надежность и качество электроснабжения потребителей и будет способствовать повышению эффективности функционирования рынка электроэнергии.

Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания развития промышленности и экономического роста страны. Состояние энергетики может стать препятствующим фактором на пути к устойчивого развития Казахстана, поскольку электроэнергетика является инерционной сферой в том смысле, что ввод новых мощностей требует довольно продолжительного времени для реализации.

В ряде регионов такой рост электропотребления уже привел к дефициту мощностей, и не только в условиях пика потребления в зимний период.

Несмотря на ввод новых газотурбинных электростанций на юге и западе страны дефицит электроэнергии наблюдается в южных регионах республики. До ввода второй цепи линии «Север – Юг» величина дефицита мощности, не покрываемая собственными источниками, составляла порядка 1500 МВт. После ввода указанной линии дефицит уменьшился, однако проблема дефицита до сих пор не решена в полной мере.

В ближайшее время также ожидается превышение потребления электроэнергии по сравнению с выработкой в Южной и Западной зонах, и, таким образом, мы можем констатировать имеющийся на сегодня дефицит мощности в ряде регионов страны и спрогнозировать его на ближайшие годы.

Реализация уже утвержденной Программы индустриально-инновационного развития Казахстана потребует обеспечения прироста электроэнергии в нашей стране. Согласно перспективному балансу, к 2015 году потребление электроэнергии ожидается на уровне 100,5 млрд. кВтч. (рис.1).

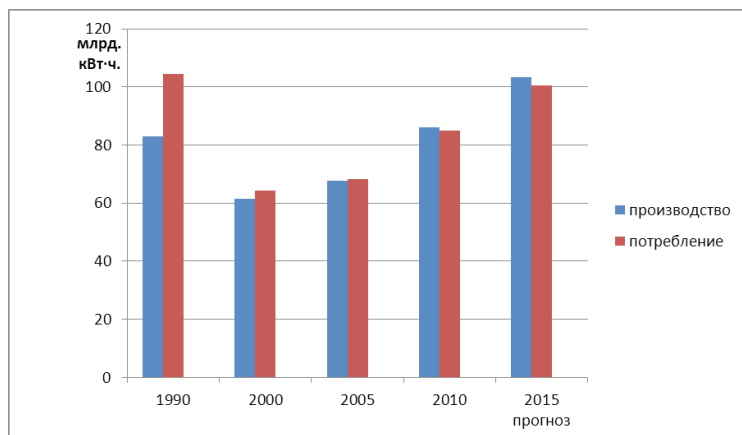


Рисунок 1 – Динамика производства и потребления электроэнергии по Казахстану (млрд. кВт·ч)

Для обеспечения электрической энергией вновь вводимых мощностей необходимы строительство новых электростанций и ЛЭП, а также модернизация старых. Надо отметить, что у нас в стране в последние 5-10 лет этот процесс идет. Вводятся и введены ряд мощностей на существующих ГРЭС, например, на Экибастузской ГРЭС-2 введен в действие 2 блок на 800 МВт, возвращается к проектной мощности Экибастузская ГРЭС-1, на модернизацию электрических сетей Павлодарэнерго в этом году затратил 1,5 млрд. тенге, введены в действие новые газотурбинные электростанции на западе страны. Выполняются пилотные проекты по строительству ветроэнергетических станций небольшой мощности в районе Ерментау Акмолинской области, строится новая ЛЭП Казахстан – Китай и т.д.

Снятие таможенных буферов, планируемое образование свободной экономической зоны на территории Павлодарской области предполагает увеличение транзитных межгосударственных потоков электроэнергии, а для этого необходима модернизация существующих и строительство новых ЛЭП.

В настоящее время для выработки электрической энергии, ее передачи на расстояние, распределения и потребления в большинстве случаев используется переменный ток. Однако, нередко и применение альтернативного варианта – передач постоянного тока (ППТ).

В последние десятилетия электроэнергетики разных стран все чаще применяют постоянный ток для решения ряда задач, в том числе связанных с передачей электрической энергии на расстояние.

В Казахстане имеется опыт передачи электроэнергии на постоянном токе. Это уникальная ППТ Экибастуз—Тамбов, которая по ряду параметров

превосходила зарубежные аналоги. К сооружению этой электропередачи (6000 МВт, 2400 км) приступили в 80-х годах, была построена значительная часть линии, закончена строительная часть подстанций в Тамбове и Экибастузе, однако эти работы не были завершены. По замыслу разработчиков эта ППТ должна быть лишь первым звеном мощной межсистемной связи, охватывающей основные энергопроизводящие регионы: Сибирь—Экибастуз—Урал—Центр. Предполагалось в дальнейшем эту передачу продлить от Экибастуза до Итатского месторождения энергетических углей и впоследствии в Сибирь, а также создать ответвление на Урал.

Актуальность подобной межсистемной связи не утрачена и в настоящее время [1, 2]. Такая связь постоянного тока, будучи наложенной на существующие и перспективные межсистемные связи переменного тока, за счет своей высокой управляемости позволит демпфировать колебания в этих связях, возникающие при аварийных нарушениях работы той или иной энергосистемы, осуществлять при необходимости несинхронную связь между ними, позволит повысить надежность и живучесть Единой энергосистемы страны [3].

В электропередачах постоянного тока (ППТ) отсутствуют многие факторы, свойственные электропередачам переменного тока и ограничивающие пропускную способность. Предельная мощность, передаваемая по ЛЭП постоянного тока, больше, чем у аналогичных ЛЭП переменного тока. Ограниченность применения ППТ связана главным образом с техническими трудностями создания эффективных недорогих устройств для преобразования переменного тока в постоянный (в начале линии) и постоянного тока в переменный (в конце линии).

Применение ППТ и вставок постоянного тока (ВПТ – подстанция, предназначенная для преобразования переменного тока в постоянный и последующего преобразования постоянного тока в переменный исходной или иной частоты) определяется их специфическими техническими характеристиками [4, 5]:

- с помощью ППТ (ВПТ) осуществляется несинхронная связь между энергосистемами, обеспечивающая возможность независимого регулирования частоты в каждой из них. Нарушения режима (КЗ, сбросы мощности, набросы нагрузки) в одной из объединенных энергосистем практически не сказываются на работе другой. Через ППТ (ВПТ) могут объединяться энергосистемы, работающие как с различными частотами или разной идеологией поддержания частоты;

- быстродействующее регулирование преобразователей ППТ и ВПТ позволяет практически безинерционно изменять величину и направление потока мощности, благодаря чему такая связь свободна от нерегулируемых перетоков мощности и способна осуществлять передачу электроэнергии по

заданной программе. Законы регулирования могут быть выбраны с большой степенью независимости от изменений режима (уровней напряжения, частоты) в связываемых энергосистемах. При необходимости специальные регуляторы могут использоваться, например, для поддержания частоты, демпфирования субгармонических колебаний, повышения устойчивости параллельных ВЛ переменного тока и т.д.;

– объединение энергосистем переменного тока или ввод дополнительной мощности в энергосистему через ППТ (ВПТ) не приводит к увеличению токов КЗ;

– для длинных ВЛ (наиболее протяженная из построенных ВЛ ППТ имеет длину 1730 км) нет ограничений передаваемой мощности по условиям нарушения устойчивости. Технические пределы нагрузки для воздушных и кабельных линий определяются только условиями теплового режима;

– по сравнению с ЛЭП переменного тока линии постоянного тока имеют в 1,5 раза меньшую зону отчуждения земли для трассы линии;

– ППТ обладают существенным по сравнению с ЛЭП переменного тока преимуществом в части надежности, так как вероятность одновременного отключения обоих полюсов ППТ более чем на порядок ниже вероятности отключения трехфазной линии;

– при передаче электроэнергии через широкие водные преграды (более 40–50 км) применение ППТ с подводным кабелем не имеет альтернативы.

При работе воздушной линии на постоянном напряжении, когда по ней протекает постоянный ток, в установившемся режиме ни ее индуктивность, ни емкость не оказывают никакого влияния на процесс передачи электрической энергии по линии и, следовательно, на максимальную мощность, которую можно передать по линии при увеличении длины последней. Зарядная мощность линии постоянного тока отсутствует в силу изложенных выше причин. Поэтому сама линия не нуждается в каких-либо компенсирующих устройствах.

Главный вывод, который может быть сделан из сказанного выше, состоит в следующем:

– для воздушной линии переменного тока существует зависимость максимальной передаваемой мощности от ее длины – чем длиннее линия, тем меньше предельная мощность, которую можно по ней передать; это одна из причин, ограничивающих допустимую длину такой линии;

– воздушная линия постоянного тока не имеет такого ограничения, поэтому линия постоянного тока может иметь любую длину и передаваемую мощность, которые диктуются практической целесообразностью. Возможные ограничения – допустимые потери энергии на нагрев проводов и пропускная способность используемой аппаратуры.

Рассмотрим теперь кабельные линии. Известно, что кабельные линии переменного тока имеют весьма ограниченную длину – не более 15–20 км. Это объясняется двумя основными причинами:

– большой зарядной мощностью, возникающей вследствие значительной емкости кабеля;

– высокой стоимостью кабеля.

Зарядная мощность приводит к дополнительному нагреву жил кабеля, вынуждая снижать полезную передаваемую мощность и ограничивать длину кабеля. В особенности это относится к высоковольтным кабельным линиям (110–500 кВ). Поэтому кабельные линии переменного тока не могут быть использованы для передачи электроэнергии на достаточно большие расстояния.

В кабельной линии постоянного тока зарядная мощность отсутствует и не создает дополнительного нагрева кабеля. Поэтому кабельные линии постоянного тока могут сооружаться достаточно длинными (100–200 км, возможно и больше) и использоваться для решения задач, которые невозможно решить иными путями, например для пересечения больших водных пространств (морских проливов), ввода больших мощностей в центры крупных городов и др.

Объединение отдельных систем с одной номинальной частотой возможно только при их синхронной работе. При всех положительных сторонах такого решения следует отметить, что оно предполагает также одинаковые стандарты поддержания частоты и законы ее регулирования. Если до объединения системы работали с различными законами регулирования частоты, то такое объединение требует большой работы по реконструкции систем регулирования частоты на всех электростанциях и крупных капиталовложений. Кроме того, объединение систем на параллельную работу неизбежно приводит к одновременному увеличению токов коротких замыканий в связываемых системах. Это требует применения дорогостоящих мероприятий по их ограничению или замене коммутационной аппаратуры.

Следует отметить еще один важный аспект. Объединение систем требует обеспечения устойчивости их совместной работы. При объединении систем связями переменного тока и возникновении аварийной ситуации в одной из систем, например короткого замыкания, отключения крупного генерирующего блока или электростанции, устойчивость совместной работы может быть нарушена, что может привести к обесточиванию целых регионов и, как следствие, большому экономическому ущербу. Этот печальный опыт имеют многие из развитых стран.

Отмеченных выше отрицательных последствий можно избежать, если для объединения систем использовать звено постоянного тока. В этом случае полностью снимаются проблемы устойчивости совместной

работы и увеличения токов коротких замыканий, а сами связываемые системы будут работать с одинаковыми или несколько различающимися частотами, но асинхронно [4]. Такое решение может дать определенный «системный эффект», связанный с повышением экономичности и надежности работы объединяемых систем как в нормальных, так и в аварийных и послеаварийных режимах, поскольку звено постоянного тока предотвращает развитие каскадных аварий, что подтверждается мировой практикой.

Если линию постоянного тока использовать для объединения нескольких систем, то в этом случае все эти системы могут работать независимо друг от друга, но обмениваться между собой мощностью. В этом случае линия постоянного тока становится как бы сборными шинами для этих систем. При этом аварийные возмущения в одной из систем не будут передаваться в другие в отличие от того, как это было бы при связи на переменном токе.

Системный эффект может проявиться также и в случае, когда звено постоянного тока шунтирует существующие межсистемные связи переменного тока [5]. Здесь за счет его высокой управляемости можно обеспечить перераспределение потоков мощности по этим связям с целью повышения экономичности работы связываемых систем и при необходимости сохранить устойчивость их синхронной работы.

Электропередача постоянного тока может проявить свои качества еще в одной области. Известно, что характерная особенность гидротурбин заключается в том, что максимальный КПД при неизменной скорости вращения их рабочего колеса, т.е. при постоянной частоте переменного тока, может быть достигнут лишь при постоянном уровне воды в верхнем бьефе (при постоянном напоре воды, на который проектируется турбина) или при незначительных его колебаниях. Такие режимы возможны лишь для гидроэлектростанций с большими объемами водохранилищ, когда водохранилище заполнено до проектной отметки. Для всех других ГЭС при неизменной скорости вращения рабочего вала при срабатывании водохранилища и снижении напора воды турбины будут снижать свой КПД. В особенности это явление будет проявляться на ГЭС с большими объемами водохранилищ в период их заполнения.

Для поддержания КПД на максимально высоком уровне в этих случаях турбины должны изменять частоту вращения, что приведет к изменению частоты переменного тока и невозможности выдачи мощности ГЭС в систему по линии переменного тока из-за разности частот системы и генераторов ГЭС. Если для связи ГЭС с системой используется линия постоянного тока, то обеспечивается возможность выдачи мощности в систему при переменной частоте вращения гидрогенераторов, в том числе и в период заполнения водохранилища, который может длиться многие годы. То есть, использование ВПТ, позволит снять проблему жесткой зависимости между заполнениями, аварийными и плановыми сбросами воды из водохранилищ и режимами

работы ГЭС. Это, свою очередь, позволит предотвращать губительные для экологических систем и экономики ситуации как искусственное предотвращение разливов, имевшее место на реке Иртыш в этом году, вызванное режимом работы Бухтарминской ГЭС.

Из сказанного выше следует целесообразность рассмотрения возможности включения в план развития энергетики восстановление существовавшей ППТ, а также вариант создания «шин постоянного тока», к которым могут подсоединяться электроэнергетические системы разных районов или стран, работающие несинхронно или с различной частотой и не выполняющие требования единства законов регулирования частоты.

В плане возможных областей применения постоянного тока в современной электроэнергетике это:

– дальние электропередачи, например, от удаленных ГЭС, ГРЭС или ВЭС. Расстояния здесь могут исчисляться многими сотнями и тысячами километров. Экономическая граница между переменным и постоянным током, по разным данным, может лежать в пределах 700–1000 км в зависимости от условий прохождения трассы, требований надежности, цен на оборудование и ряда других факторов;

– передача электроэнергии через большие водные пространства;

– глубокие вводы большой мощности в центры крупных городов;

– связь систем переменного тока с различной номинальной частотой;

– несинхронные связи систем одной номинальной частоты, что позволит повысить живучесть объединенной системы;

– создание «шин постоянного тока»;

– подключение к системе электростанций, работающих с переменной частотой вращения агрегатов, что позволяет обеспечить большую эффективность работы этих агрегатов;

– развязка колец, возникающих при развитии объединенной системы, в которых могут циркулировать большие неуправляемые потоки мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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

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

5 **Шапкенов, Б. К., Иванова, Е. В., Кайдар, А. Б.** Межсистемные связи для энергетики Казахстана. Материалы XIV Международную научно-практическую конференцию аспирантов, студентов и молодых ученых «Теоретические знания – в практические дела» Филиал ФГБОУ ВПО «МГУТУ имени К.Г. Разумовского» в г. Омске 22 – 27 апреля 2013 года Программа секций-2013 - ФГБОУ ВПО «МГУТУ имени К. Г ... mgtu-tomsk.3dn.ru/konferencia/2013/programma_sekcij2013.pdf» 23 апр. 2013 г. – Витебск, Республика. Беларусь.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 11.09.14.

А. Б. Кайдар, В. Ф. Говорун, Б. К. Шапкенов

Тұрақты тоқтың салғылары мен желісінің қолдану проблемалары мен тиімді жағы

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 11.09.14 баспаға түсті.

A. B. Kaidar, V. F. Govorun, B. K. Shapkenov

Problems and prospects of using lines and HVDC

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 11.09.14.

Қазақстан энергетикасына, трансшекаралық және ішкі байланыс жасау үшін, тұрақты тоқтың салғылары мен желісінің қолдану проблемасына арналған мақала.

The article deals with the use of lines and HVDC for domestic and cross-border links to the Kazakstan energy.

УДК 621.311.016.3

**А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский,
Б. К. Шапкенов, А. М. Акаев**

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

*Рассмотрено системное регулирование энергопотребления.
Системное регулирование позволяет экономить до 10-15% от
объемов ежегодных выплат за потребляемую электроэнергию.*

По данным Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан, энергоёмкость внутреннего валового продукта (ВВП) Казахстана в настоящее время составляет 1,9, энергоёмкость Беларуси 1,17, энергоёмкость ВВП России составляет 0,49, тогда как энергоёмкость ВВП Японии составляет 0,1, т.е. в 19 раз ниже казахстанского показателя (рис. 1). Председатель правления АО «Самрук-Энерго» Алмасадам Саткалиев отметил на VII Евразийском энергетическом форуме KAZENERGO, энергоёмкость ВВП в 2020 году снизится с 1,9 до 1,425, что будет уж только в 14 раз превышать сегодняшнюю энергоёмкость ВВП Японии [1].

Однако, при сравнении энергоёмкости производств или ВВП обязательно нужно учитывать характер производства, уровень развития промышленности, уровень технологии. Нельзя сравнивать энергоёмкость ВВП страны, которая специализируется в области радиоэлектроники и легкой промышленности, например, страны Прибалтики, и энергоёмкость ВВП стран, специализирующихся в области тяжелой индустрии [2].

Например, в Казахстане высокое, и это оправдано, энергопотребление в промышленном секторе обусловлено в первую очередь такими энергоёмкими отраслями промышленности как цветная и черная металлургия, нефтяная и горная промышленности. 72 % от общего потребления электроэнергии и 42 % от общего потребления тепла в стране приходится на промышленный сектор, тогда как в Европейском союзе доля потребления электроэнергии промышленным сектором составляет около 24 %. Помимо этого, не надо забывать климатический фактор. Если в Европе зима длится 3 месяца, то у нас не менее 6 месяцев. Поэтому любое производство в Европе будет намного рентабельнее, чем у нас.

Тем не менее вопросы энергосбережения и энергоэффективности актуальны и в нашей стране. Так Мининдустрии разработана отраслевая программа в области энергосбережения и повышения энергоэффективности на 2012-2015 годы, цели которой: способствовать снижению энергоемкости за счет сокращения неэффективного использования топливно-энергетических ресурсов, выработка комплекса законодательных, организационных, научных, технических, сбалансированных с государственным бюджетом экономических и финансовых мер. Как результат, годовая экономия первичной энергии в промышленном и энергетических секторах – не менее 7 млн. тонн нефтяного эквивалента (т.н.э.), а сокращение расхода энергии в жилищно-коммунальном и бюджетном секторах – не менее 2,5 млн. т.н.э. [1].

Одним из вариантов повышения энергоэффективности казахстанской экономики является внедрение в системах управления региональными, промышленными и корпоративными электротехническими комплексами методики оптимального управления электропотреблением, включающей этапы создания базы данных, выявления аномальных объектов, прогнозирования и нормирования [1].

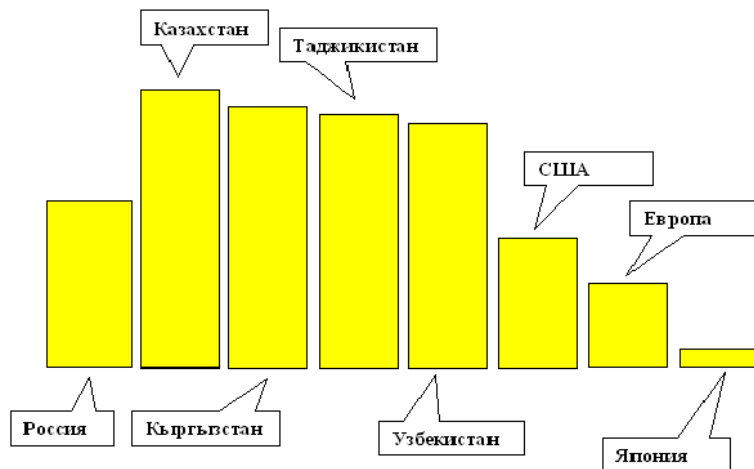


Рисунок 1 – Энергоемкость промышленного производства

Основу энергосбережения в электроэнергетике составляет планомерная реализация комплекса технических и технологических мер, которым должна предшествовать оптимизация электропотребления инфраструктуры на системном уровне [3].

Методология исследований в области энергосбережения может быть условно разделена на три уровня (рис. 2).

Первый уровень (желтый – цвет выбран условно) соответствует исследованиям, нацеленным на конкретные технические и технологические разработки, способствующие снижению энергопотребления (замена устаревшей светотехнической аппаратуры, внедрение энергосберегающих частотнорегулируемых электроприводов, модернизация внутреннего электрооборудования зданий и сооружений и т.д.). В основе методологии здесь лежит имитационное моделирование, которое базируется на аксиоматике гауссовых распределений. Это позволяет широко использовать вероятностные свертки при определении законов функционирования и квазипараллельные алгоритмы при моделировании.

С другой стороны, на третьем (сером) уровне исследований (рис. 2) осуществляется стратегическое планирование и прогнозирование в электроэнергетике (маневрирование максимумами нагрузок в энергосистеме, снижение потерь в линиях электропередач, эффективный контроль над коэффициентом мощности и т.д.). Здесь находит применение методология теории электромагнитного поля, теории электрических цепей и исследования операций.

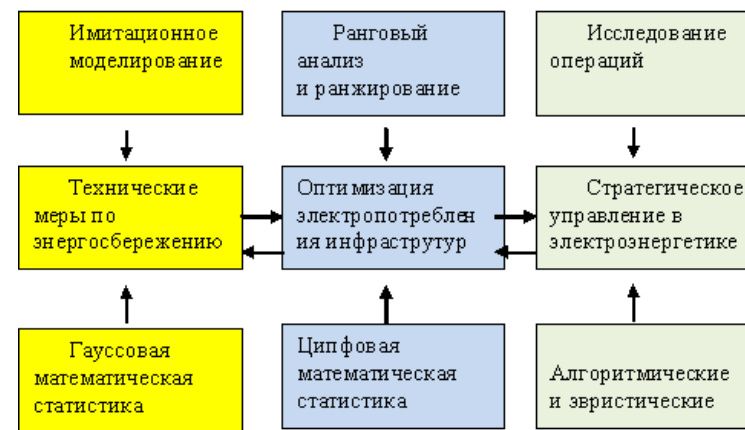


Рисунок 2 – Методологические уровни исследований в области энергосбережения

В основе рангового анализа лежит техноценологический [4] подход и теория безгранично делимых ранговых распределений (рис. 4).

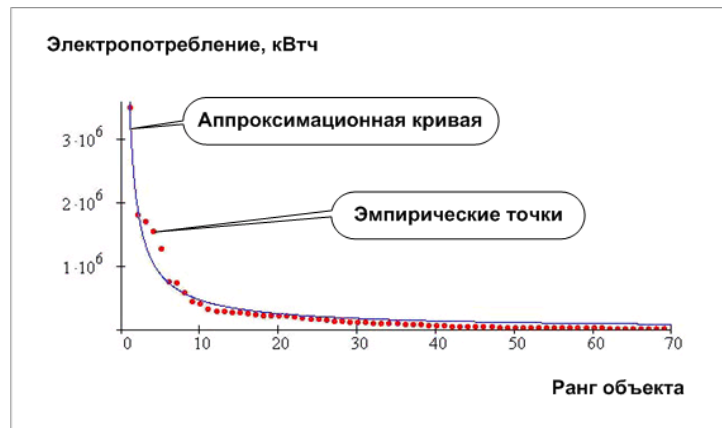


Рисунок 4 – Ранговое параметрическое распределение по электропотреблению

Получение ранговых распределений осуществляется по результатам аппроксимации отранжированных экспериментальных данных по электропотреблению объектов инфраструктуры. Ранжирование объектов осуществляется по мере убывания их электропотребления. При этом первый ранг присваивается объекту с наибольшим электропотреблением, второй – объекту с наибольшим электропотреблением кроме первого и т.д. В результате получается упорядоченный график зависимости электропотребления (откладывается по оси ординат в кВт·ч) от ранга (откладывается по оси абсцисс как номер по порядку, ряд натуральных чисел), который называется ранговым параметрическим распределением (рис. 4).

Системное регулирование энергопотребления позволяет безусловно экономить до 10-15% от объемов ежегодных выплат за потребляемую электроэнергию без существенных капитальных вложений. Однако, это не панацея. Так как директивное ограничение энергопотребления может негативно влиять на производства. Поэтому вторым этапом необходимо осуществлять внедрение энергосберегающих технологий и технических решений, обеспечивающих еще большее увеличение экономии средств [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шапкенов, Б. К. Обеспечение непрерывного функционирования предприятий при отключении электроэнергии Междунар. науч.-практич. конф. «Снижение рисков и ликвидация последствий ЧС природ и техноген.

характера – приоритетные направления социальной безопасности и устойчивого развития в северных регионах РК, Павлодар, 2009. – С. 68-73.

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

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

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

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

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 30.09.14.

А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, Б. К. Шапкенов, А. М. Акаев
Электр тұтынушыларды жүйелік реттеуі электрмен қамтамасыз ету жүйелерінің параметрлерін оптимизациялауға арналған

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 30.09.14 баспаға түсті.

A. B. Kaidar, A. P. Kislov, V. P. Markovsky, B. K. Shapkenov, A. M. Akayev
System adjusting of energy consumption for optimization of parametrers of the systems of energy supply

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 30.09.14.

Энергия тұтынудың жүйелік реттеуі қарастырылды. Жүйелік реттеуі тұтынлатын электрлік энергия үшін бір жылғы төлемі көлемінің 10-15 % дейін үнемдеуге мүмкіндік береді.

The systematic regulation of energy consumption was reviewed in the article. The systematic regulation of energy lets economize 10-15 % of paying for electric energy each year.

А. Б. Кайдар, Б. К. Шапкенов, Н. М. Падруль

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

В статье отмечено, что в Казахстане намечается тенденция реального строительства ветроэлектростанций. Предложена конструкция ветроагрегата, обладающего повышенной эффективностью преобразования энергии ветра.

В настоящее время в Казахстане особенно в преддверии ЭКСПО 2017 пристальное внимание уделяется проектам с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ). В частности в Мангистауской области зарегистрированы 3 компании по строительству ветряных электростанций (ВЭС) – EnergyWorldwideHolding, SouthWindPower, DMKKO.

В настоящее время Инвест Грин провела работы в продвижении инвестиционного проекта строительства ветряной электростанции мощностью 150 МВт в Каракиянском районе села Курык. 1

SouthWindPower, созданная в 2009 г для реализации проектов в области (ВИЭ), в 2010 г. приступила к разработке проекта строительства ВЭС в районе г. Форт-Шевченко Тупкараганского района. Ее мощность составляет 42 МВт.

Инвестиционный проект строительства 18 ветряных электростанций ценой \$100 млн реализуется в поселке Карабатан Атырауской области, которые будут производить до 60 МВт.

В Ерейментау строится ветроэлектростанция мощностью 45 мВт с возможностью расширения до 300 мВт. Ветроэлектростанция в Ерейментау будет снабжать объекты ЕХРО-2017. Кроме этого, АО «Самрук-Энерго» рассматривает возможность строительства ветроэлектростанций общей мощностью 1,5 млрд. кВт/ч в год вблизи городов Астана, Аркалык.

Учитывая, что вопросы ВИЭ приобретают реальные черты проблема повышения эффективности преобразования энергии ветра, технической и экологической безопасности ветряных установок является в настоящее время весьма актуальной. Особенно с учетом мировых тенденций роста доли ветроэнергетики в производстве электроэнергии [1].

Традиционные ветродвигатели с горизонтальной и вертикальной осью вращения имеют ограничения по эффективности использования энергии ветра, которая в соответствии с известным законом Беца не может быть больше 59,3 % [2]. Этот закон выведен из условия, что скорость ветра после взаимодействия с лопастями ветродвигателя должна иметь некоторую

скорость для выхода из взаимодействия, то есть обладать остаточной кинетической энергией движения. Разность начальной кинетической энергии ветра и конечной, которой обладают выходящие массы воздуха, составляет кинетическую энергию вращения ротора ветродвигателя.

Традиционная технология основана на том, что ветер воздействует на разнообразной конструкции лопасти и раскручивает их, отдавая им только часть своей кинетической энергии. При увеличении скорости ветра до штормовых значений эксплуатация ветряных станций небезопасна, так как раскручивание лопастей до критических скоростей может нанести разрушение ветроагрегата и произвести разрушение близлежащих зданий и сооружений, а также травмировать людей. Например, в Финляндии зона отчуждения составляет 50 м, и в то же время известно, что разлет кусков льда с обледеневших лопастей достигает 150 м.

Для решения вышеуказанных проблем было принято решение в ветроагрегате использовать лопасть с автоматически изменяющейся геометрией [3, 4].

Предлагаемый к рассмотрению ветроагрегат относится к ветротехнике и связан с использованием кинетической энергии ветра, как альтернативного источника энергии и может быть использовано в ветродвигателях различного назначения и мощности с осью вращения ротора, совпадающей с направлением ветра.

Техническим результатом является более эффективное использование энергии ветра, возможность выработки механической энергии при низких, средних и высоких скоростях ветра и надежность работы конструкции ветроколеса.

Ветроколесо содержит каркас (рис. 1), выполненный из восьми изогнутых под прямым углом стержней 1, два выступающих из каркаса прямых стержня 2, жестко скрепленных с осью 3. Каркас с наветренной стороны закрыт конусом 4, жестко закрепленным на оси 3, установленной в трубе 5, жестко прикрепленной посредством скобы 6 к поворотному опорному механизму 7 с возможностью вращения. Поворотный опорный механизм 7, установлен на стойке 8. На изогнутых стержнях 1, на участках, примыкающих к криволинейным лопастям 9, установлены пружины кручения 10 с возможностью перемещения их по стержням 1 при сжатии и растяжении. На прямых стержнях 2 навешены грузы 11 с возможностью перемещения в радиальном направлении. Криволинейные лопасти 9 установлены с наклоном относительно оси 3, жестко скреплены с направляющими трубками 12, насаженными на изогнутые стержни 1 и снабжены блоками 13. К фузам 11 через блоки 13 прикреплены тросы 14.

Известно ветроколесо парусного типа (Патент РФ 2373425 F03E 1/06, опубл. 20.11.2009), содержащее ступицу с трубчатыми спицами, на

которых закреплены лопасти в виде треугольника, которые выполнены в виде парусных оперений. Их вершина размещена у ступицы, а основание соединено с натяжной тягой, которая соединена с упругими элементами, ослабляющих силу натяжения парусных оперений при порывах ветра. Конструкция ветроколеса позволяет обеспечить безопасность от поломок при внезапных резких порывах ветра

Недостатком данного ветроколеса является низкий коэффициент использования энергии ветра по причине отсутствия устройства, усиливающего скорость потока ветра, направляемого на лопасти.

Известно также ветроколесо (Патент СССР №1790735, F03O 1/06, опубл. 23.01.1993), содержащее криволинейные лопасти, связанные при помощи стержней с втулкой. Ветроколесо снабжено осью и коническим обтекателем, втулка установлена на оси с возможностью вращения, обтекатель закреплен на оси с наветренной стороны и обращен основанием к лопастям, причем диаметрального расстояния между лопастями превышает диаметр основания обтекателя. Ось имеет с одной стороны обтекатель, с другой - флюгер и поворотную часть, установленную на стойке.

Недостатком ветроколеса является низкий коэффициент использования энергии ветра за счет того, что при диаметральной дистанции между лопастями большего диаметра основания обтекателя часть потока ветра проходит в зазоре, минуя лопасти и не совершая работы, отсутствие устройства позволяющего передавать кинетическую энергию ветроколеса для дальнейшего преобразования в полезную работу.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности и достигаемому результату является ветроколесо с осью вращения, совпадающей с направлением ветра (Патент РФ 2391555, F03B 1/06, опубл. 10.06. 2010), содержащее связанный с осью жесткий каркас с выступающими из него наклоненными вперед, на ветер стержнями, являющимися осями лопастей. Лопасти навешены на оси несимметрично так, что большая часть лопасти расположена с подветренной стороны, массы частей сбалансированы относительно оси. Каждая лопасть связана с каркасом пружиной кручения с возможностью отклонения. Каркас спереди закрыт направленным вершиной вперед конусом. На наружной боковой поверхности конуса укреплены жесткие лопатки, опоясанные по окружности основания конуса цилиндром с окнами напротив каждой лопатки.

Недостатком ветроколеса является то, что расположение лопаток и окон в цилиндре не обеспечивает эффективное использование энергии дополнительного потока ветра, направляемого конусом и лопатками через окна цилиндра на лопасти, а также не эффективно используется энергия основного потока ветра по причине наличия пустот между лопатками.

В связи с этим поставлена задача, разработать ветроколесо с повышенным коэффициентом использования кинетической энергии ветра в широком диапазоне скоростей ветра.

Техническим результатом является более эффективное использование энергии ветра, возможность выработки механической энергии при низких, средних и высоких скоростях ветра и надежность работы конструкции ветроколеса.

Это достигается за счет того, что в известном ветроколесе, с осью вращения, совпадающей с направлением ветра, содержащем связанный с осью жесткий и закрытый направленный вершиной вперед конусом каркас, с выступающими из него стержнями с насаженными на них сбалансированными лопастями, связанными пружинами кручения с каркасом, предлагается ось вращения ветроколеса закрепить в поворотном-опорном механизме с возможностью вращения. Каркас выполнить из изогнутых под прямым углом стержней с навешенными на них посредством трубок криволинейными лопастями по всей площади ометания. Криволинейные лопасти снабдить блоками с пропущенными через них тросами, соединенными с грузами, насаженными на прямых стержнях с возможностью перемещения по ним, а пружины кручения установить на изогнутых стержнях, на участках, примыкающих к криволинейным лопастям.

Изобретение поясняется чертежами.

На рис.1 изображено ветроколесо, вид сбоку.

На рис.2 изображено ветроколесо, вид спереди со стороны обтекателя.

На рис.3 изображено сечение А-А ветроколеса на рис. 1.

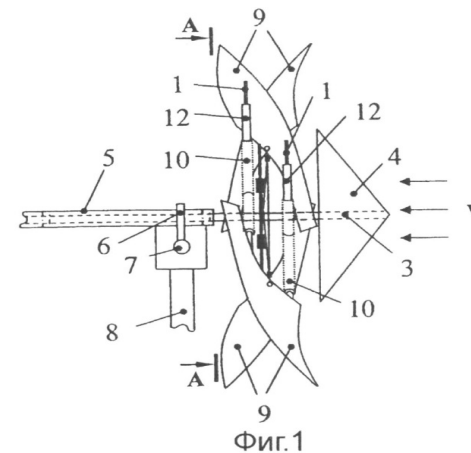


Рисунок 1 – Ветроколесо, вид сбоку

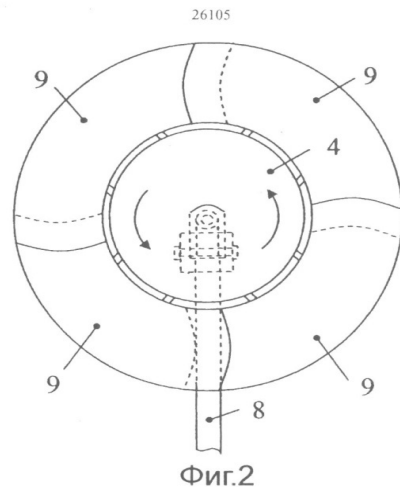


Рисунок 2 – Ветроколесо, вид спереди со стороны обтекателя

Ветроколесо содержит каркас, выполненный из восьми изогнутых под прямым углом стержней 1, два выступающих из каркаса прямых стержня 2, жестко скрепленных с осью 3. Каркас с наветренной стороны закрыт конусом 4, жестко закрепленным на оси 3, установленной в трубе 5, жестко прикрепленной посредством скобы 6 к поворотному-опорному механизму 7 с возможностью вращения. Поворотный-опорный механизм 7, установлен на стойке 8. На изогнутых стержнях 1, на участках, примыкающих к криволинейным лопастям 9, установлены пружины кручения 10 с возможностью перемещения их по стержням 1 при сжатии и растяжении. На прямых стержнях 2 навешены фузы 11 с возможностью перемещения в радиальном направлении. Криволинейные лопасти 9 установлены с наклоном относительно оси 3, жестко скреплены с направляющими трубками 12, насаженными на изогнутые стержни 1 и снабжены блоками 13. К фузам 11 через блоки 13 прикреплены тросы 14.

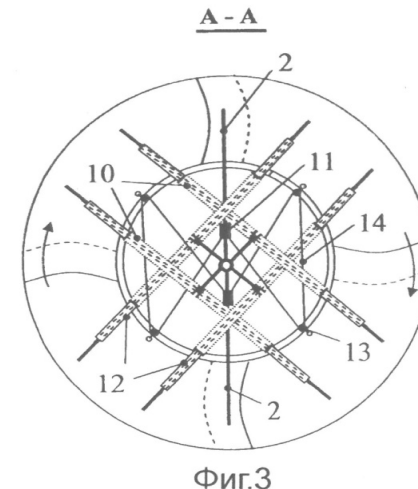


Рисунок 3 – Сечение А-А ветроколеса на рис. 1

Ветроколесо работает следующим образом. Ветровой поток поступает на криволинейные лопасти 9 и на конус 4. На поверхности конуса 4 происходит увеличение скорости потока ветра, поступающего на криволинейные лопасти 9. Силы основного потока ветра и потока ветра, направляемого конусом 4, действуют равномерно по всей длине криволинейных лопастей 9. Возникающие силы создают вращающий момент на оси 3, приводя ее во вращение. При высоких скоростях потока ветра под воздействием центробежной силы грузы 11 радиально перемещаются по прямым стержням 2 от оси 3 к периферии, тем самым через тросы 14 и блоки 13 перемещая криволинейные лопасти 9 к оси вращения 3. В результате происходит уменьшение суммарной площади поверхностей криволинейных лопастей 9, воспринимающих ветровой поток, и снижается скорость вращения ветроколеса, что позволяет предотвратить поломку конструкции от воздействия потока ветра с высокой скоростью. При снижении скорости потока ветра лопасти 9 под воздействием сил упругости пружин 10, двигаясь по стержням 1, возвращаются в первоначальное положение, соответствующее положению, когда ветроколесо не вращается.

Предлагаемое ветроколесо позволяет использовать максимум энергии потока ветра, повышает коэффициент использования его энергии, а получаемая кинетическая энергия вращающейся оси может быть полезно использована, например, в качестве привода различных механизмов или генераторов энергии.

Изобретение может быть использовано в качестве привода в экологически чистых альтернативных источниках энергии.

Выводы:

Таким образом, в отличии от традиционных ветродвигателей предлагаемое запатентованное устройство позволяет автоматически изменять геометрию лопасти в функции скорости ветра и позволяет использовать ветроагрегат при низких, средних и высоких (верхний предел до штормовой) скоростях ветра, что приведет к во-первых к повышению надежности ветроагрегата за счет снижения парусности лопастей и к существенному повышению эффективности преобразования кинетической энергии ветра за счет использования при любых скоростях ветра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Лысенко, В. С., Сулейменов, Б. Т., Рафиков, И. Х.** Кинетическая энергия природных вихрей. Materialy VII mezinarodnive decko-prakticka conference Aplikovane vedeckenovinky-2012. Praha. 27.07. – 05.08.2012. – С. 61-64.

2 **Перминов, Э. М.** Состояние и перспективы развития мировой ветроэнергетики // Энергохозяйство за рубежом. 2003. Вып. 1. – С. 164-170.

3 Инновационный патент РК № 26105 на изобретение «Ветроколесо», Дробинский А.В., Шапкенов Б.К., Кайдар А.Б. 14.09.2012, бюл. № 9.

4 **Шапкенов, Б. К., Дробинский, А. В., Кайдар, А. Б.** «Перспективы развития микро энергетики в Казахстане». Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции им. МашхурЖусипа посвященной 20- летию Независимости Республики Казахстан, 2011, г. Павлодар, Павлодарский Государственный Университет им. С. Торайгырова, – С. 231-240. 0,25 п.л.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 30.09.14.

A. B. Kaidar, B. K. Shapkenov, N. M. Padrul'

Жел энергиясының әсерінен жоғарғы тиімділік

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 30.09.14 баспаға түсті.

A. B. Kaidar, B. K. Shapkenov, N. M. Padrul'

Efficiency of the wind energy conversion

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 30.09.14.

Қазақстанда шынайы құрылыстың үрдісі, жел электр станциясының салынуы көзделіп отыр деп мақалада белгіленген. Жел энергиясының әсерінен, ұсынылған жел агрегаттының конструкторы жоғарғы тиімділікке ие.

The authors noted an emerging tendency of the real construction of the wind power stations in Kazakhstan. A design of a wind turbine is proposed having a higher efficiency of the wind power conversion.

УДК 621.365.5

**А. П. Кислов, В. П. Марковский, С. И. Деревягин,
С. И. Игонин, Л. И. Кривко**

ВЛИЯНИЕ МАГНИТОПРОВОДА И ЗАГРУЗКИ НА ИНДУКТОР В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НАГРЕВА

Полученные количественные соотношения для характеристики влияния магнитопровода на индуктор и проведен анализ коэффициента взаимосвязи магнитопровода и индуктора при различных геометрических соотношениях в системе нагрева.

Структурный анализ коэффициентов влияния магнитопровода и загрузки на индуктор показывает, что величина их в значительной степени зависит от электрофизических свойств электротехнической стали, применяемой для выполнения пакетов магнитопровода, и геометрических соотношений в системе нагрева. Последнюю зависимость определяет коэффициент взаимосвязи между индуктором и магнитопроводом, показывающий часть общего магнитного потока индуктора, проходящую через магнитопровод. Эта зависимость может быть представлена в следующем виде.

Рассмотрим систему, в которой магнитопровод расположен коаксиально индукционной системе. Предположим, что влияние вихревых токов, индуцированных в магнитопроводе на поле воздушного зазора, можно не учитывать. Векторный потенциал магнитного поля в воздушном зазоре может быть для двух измерений определен из уравнения:

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial A}{\partial R} \right) + \frac{1}{R^2} \cdot \frac{\partial^2 A}{\partial \alpha^2} = 0. \quad (1)$$

При граничных условиях:

$$-\frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\partial A}{\partial R} = H_{\tau} (R = R_M) \quad R = R_M. \quad (2)$$

$$-\frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\partial A}{\partial R} = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения (1) относительно тангенциальной и радиальной составляющих напряженности магнитного поля имеет вид [1]:

$$\dot{H}_{\tau} = -\frac{\partial A}{\mu_0 \partial R} = \frac{\dot{H}_{\tau_n} \left(\frac{R_n}{R} \right)^2 \left[\left(\frac{R}{R_n} \right)^2 - \left(\frac{R_M}{R_n} \right)^2 \right] \sin \frac{\pi}{l_n} \alpha. \quad (4)$$

$$\dot{H}_R = \frac{1}{\mu_0 R} \cdot \frac{\partial A}{\partial \alpha} = -\frac{\dot{H}_{\tau_n} \left(\frac{R_n}{R} \right)^2 \left[\left(\frac{R}{R_n} \right)^2 - \left(\frac{R_M}{R_n} \right)^2 \right] \cos \frac{\pi}{l_n} \alpha.$$

Максимальный магнитный поток на единицу длины магнитопровода, проходящий в магнитном зазоре, определится

$$\dot{\Phi}_{ИМ} = \mu_0 \int_0^{2\pi} \left| \dot{H}_{\tau} \right|_{R=R_M} R_M \cdot d\alpha. \quad (5)$$

Полученное выражение определяет взаимосвязь только магнитопровода и индуктора. Пользуясь принципом наложения задача определения напряженности магнитного поля и соответствующих потоков сводится к определению напряженности магнитного поля от загрузки и индуктора, представленных как однослойные цилиндрические катушки.

Для вычисления напряженности магнитного поля однослойной цилиндрической катушки Kuno Foelsch дает следующую формулу для области вне катушки.

$$H_{\tau} = \frac{Jw}{2\pi l} [B_2(n, \beta_2) \pm B_1(n, \beta_1)]. \quad (6)$$

$$H_R = \frac{Jw}{2\pi l} \sqrt{\frac{R}{\rho}} \left\{ \left[\frac{2}{K_1} (F_1 - E_1) - K_1 F_1 \right] - \left[\frac{2}{K_2} (F_2 - E_2) - K_2 F_2 \right] \right\}, \quad (7)$$

где

$$B(n, \beta) = 2F_1 \sqrt{1-\beta} - A(n\beta);$$

$$A(n, \beta) = \frac{\pi}{2} + F_1 \sqrt{1-\beta} (1 + \sqrt{1-n}) + F(b, \varphi) \cdot [F - E] - F \cdot E(b, \varphi);$$

$$K^2 = n \cdot \beta \quad b^2 = 1 - K^2 \quad \sin \varphi = \frac{1-n}{1-K^2};$$

$$n = \frac{4R\rho}{(R+\rho)^2} \quad \beta_1 = \frac{(R+\rho)^2}{(R+\rho)^2 + x_1^2} \quad \beta_2 = \frac{(R+\rho)^2}{(R+\rho)^2 + x_2^2};$$

F_1, E_1 – полные эллиптические интегралы первого и второго рода;

$F(b, \varphi), E(b, \varphi)$ – эллиптические интегралы первого и второго рода;

R – радиус катушки;

Jw – ампервитки катушки;

x_1, x_2 – расстояния от концов катушки до рассматриваемой точки;

l – высота катушки;

ρ – расстояние от оси катушки до рассматриваемой точки.

В связи с тем, что радиальная составляющая напряженности магнитного поля в нижней и верхней частях магнитопровода равны друг другу и противоположно направлены [2], эти составляющие могут не приниматься при рассмотрении. Такое допущение целесообразно с точки зрения упрощения расчета и, как показывают эксперименты, не вносит значительной погрешности в результаты аналитических расчетов.

Принимая это, определение необходимых коэффициентов для расчета напряженности магнитного поля свелось к определению значений коэффициентов B_1, B_2, n и β . Величина коэффициентов B_1 и B_2 по вычисленным n и β для каждой интересующей нас точки может быть найдена с помощью графиков рис. 1, где приведены кривые изменения указанных коэффициентов. Эти зависимости даны в диапазоне изменения аргументов, охватывающих всю возможную область геометрических соотношений в индукционных системах нагрева.

Расчетные значения напряженности магнитного поля вне индуктора при различных геометрических соотношениях в системе нагрева приведены на рис. 2-4.

Графическое интегрирование зависимостей рис. 2-4 на основании выражения (5) позволило получить зависимости рис. 5, показывающие величину магнитного потока, проходящего через магнитопровод, в зависимости от его расположения относительно индуктора при различных диаметрах загрузки. Точками на рисунке показаны экспериментальные величины, полученные при поведении экспериментального исследования ферромагнитного экранирования.

Зависимости коэффициента взаимосвязи между индуктором и магнитопроводом от геометрических соотношений в системе нагрева неоднозначно определяют коэффициент влияния магнитопровода и загрузки на индуктор. Как уже указывалось, коэффициент влияния в равной мере зависит от электрофизических свойств электротехнической стали, используемой для магнитопровода. Однако здесь представляет интерес рассмотреть частный случай зависимости коэффициентов влияния от геометрических соотношений в системе для определенного сорта стали – электротехнической стали Э-42. Такие зависимости при постоянном сечении магнитопровода приведены на рис. 6.

Как видно из сопоставления зависимостей рис. 5 и 6, при отсутствии зазора между магнитопроводом и индуктором основная часть магнитного потока индуктора (95-100%) замыкается по ферромагнитным участкам магнитопровода. Возможное появление потоков утечки (до 5%) объясняется наличием паразитных зазоров между витками индуктора, т.е. отличием коэффициента заполнения индуктора по высоте от единицы и возникающих вследствие этого местных разностей магнитных потенциалов на соответствующих участках. Этим объясняются наиболее значительные различия расчетных и экспериментальных данных, полученных при исследовании данного вопроса.

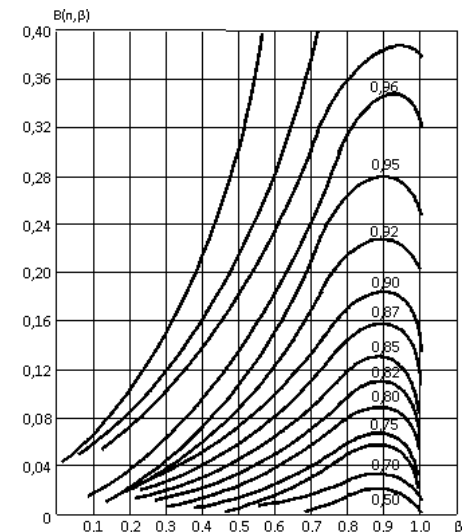


Рисунок 1 – Значение коэффициента В для расчета напряженности магнитного поля цилиндрической катушки на основании (6)

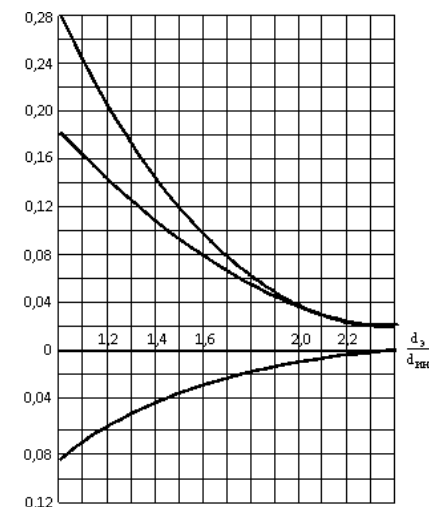


Рисунок 2 – Распределение напряженности магнитного поля вне индуктора при $\frac{d_з}{d_{инд}} = 0,6$ (расчетные): 1 – составляющая напряженности от тока индуктора; 2 – составляющая напряженности от токов в загрузке; 3 – результирующая напряженность магнитного поля

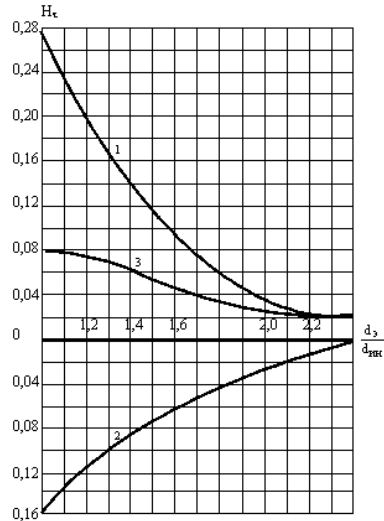


Рисунок 3 – Распределение напряженности магнитного поля вне индуктора при $\frac{d_3}{d_{мб}} = 0,7$ (расчетные зависимости): 1 – составляющая напряженности от тока индуктора; 2 – составляющая напряженности в нагрузке; 3 – результирующая напряженность магнитного поля

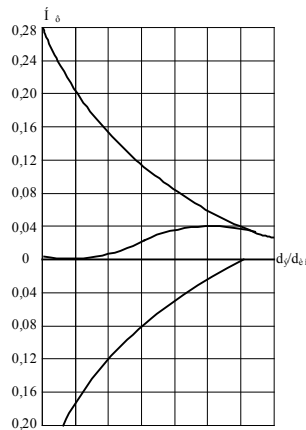


Рисунок 4 – Распределение напряженности магнитного поля вне индуктора при $\frac{d_3}{d_{мб}} = 0,8$ (расчетные зависимости): 1 – составляющая напряженности от тока индуктора; 2 – составляющая напряженности от токов в нагрузке; 3 – результирующая напряженность магнитного поля

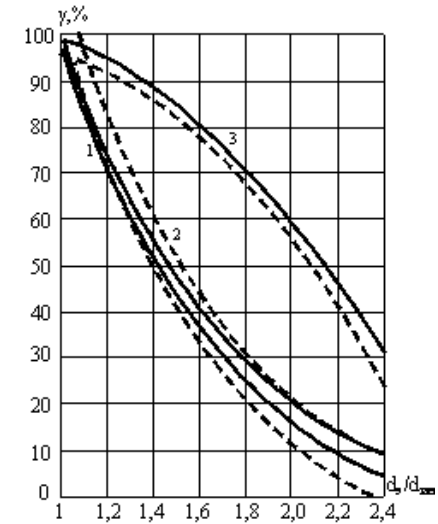


Рисунок 5 – Величина магнитного потока в % от общего потока индуктора, проходящая через магнитопровод, в зависимости от диаметра расположения пакетов при $1 - \frac{d_3}{d_{мб}} = 0,6; 2 - \frac{d_3}{d_{мб}} = 0,7; 3 - \frac{d_3}{d_{мб}} = 0,8$. Пунктиром показаны экспериментальные значения

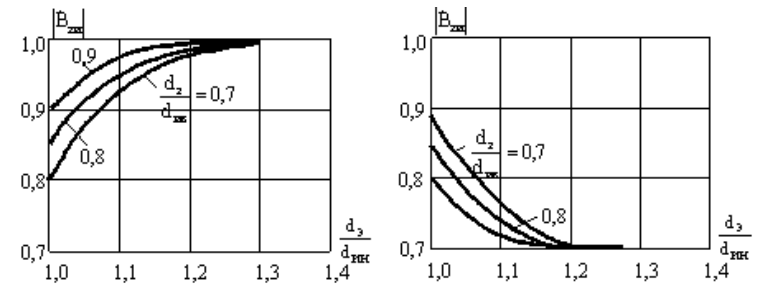


Рисунок 6 – Зависимость коэффициентов влияния загрузки и магнитопровода на индуктор от геометрических соотношений в системе нагрева

При помещении пакетов магнитопровода на расстоянии $\frac{d_m}{d_{мб}} > 1$ от индуктора внешний магнитный поток разделяется на два параллельных потока, среди которых наибольший по величине проходит по ферромагнитным участкам. Естественно, что при расположении пакетов непосредственно

возле индуктора без зазора коэффициент взаимосвязи γ увеличивается, что не всегда играет положительную роль. В случае, когда γ максимален, расчет активного сечения магнитопровода необходимо вести по потоку, мало отличающемуся от потока индуктора, и, как следствие, потребуется значительное количество электротехнической стали, чтобы обеспечить допустимую рабочую индукцию в пакете. Расположение пакетов непосредственно около индуктора хотя и может обеспечить улучшение охлаждения магнитопровода, прилегающего пусть даже через изоляционное покрытие витков к водоохлаждаемому индуктору, но одновременно и осложнит в определенной мере конструирование индуктора, в частности, приведет к затруднениям в оформлении устройств, обеспечивающих осевую стяжку индуктора. Кроме этого, зависимость коэффициента влияния (ВЗИ) от геометрических соотношений в системе (рис. 6) показывает, что при

$$\frac{d_m}{d_{\text{шт}}}$$

изменении $\frac{d_m}{d_{\text{шт}}}$ от 1,0 до 1,2 влияние магнитопровода на энергетический режим работы оказывается существенно, что выражается в увеличении числа витков индуктора, изменении сопротивления и увеличении потерь активной энергии в индукторе. Все это свидетельствует за то, что пакеты магнитопровода необходимо располагать на некотором отдалении от

$$\frac{d_m}{d_{\text{шт}}} > 1,2.$$

индуктора так, чтобы

Удаление магнитопровода от индуктора влечет за собой увеличение длины окружности расположения пакетов и увеличения или количества пакетов при постоянной ширине или увеличения ширины пакетов при постоянном их количестве. При этом в любом случае произойдет уменьшение ширины шихтованных пластин, что обеспечит лучший отвод тепла от внутренних частей пакета и увеличения общей поверхности пакетов, участвующей в отдаче тепла в окружающее пространство. Однако, увеличение зазора между индуктором и магнитопроводом накладывает требование увеличения длины пакетов, что увеличивает вес магнитопровода. Поэтому вопрос о выборе рационального положения пакетов должен решаться параллельно с расчетом экономических затрат на различное исполнение экранирующих элементов электропечи.

Выводы

1. Проведен анализ коэффициента взаимосвязи магнитопровода и индуктора при различных геометрических соотношениях в системе нагрева.
2. Получены количественные соотношения для характеристики влияния магнитопровода на индуктор.
3. Внесение в систему нагрева ферромагнитного экрана производит изменение энергетических соотношений в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Круг, К. А. и др. Основы электротехники, 1952.
- 2 Торопов, И. А. «Экранирование индукционных тигельных печей». Научно-технический сб. «Электротермия», 1964. – Вып. 31.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 01.08.14.

*А. П. Кислов, В. П. Марковский, С. И. Деревягин, С. И. Игонин,
Л. И. Кривко*

Цилиндрлік қыздыру жүйесіне индукторға қосу және магнитті сымның әсері

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 01.08.14 баспаға түсті.

A. P. Kislov, V. P. Markovsky, S. T. Derevjagin, S. I. Igonin, L. I. Krivko
The influence of the magnetic circuit and load on the inductor in the cylindrical heating system

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 01.08.14.

Магнитті сымның индукторға әсерінің мінездемесі үшін сандық арақатынас алынған және қыздыру жүйесіндегі әртүрлі геометриялық арақатынастар кезіндегі магнитті сым мен индуктордың өзара байланыс коэффициентіне талдау жүргізілді.

The quantitative ratio for characteristic of the influence of magnetic circuit on the inductor was obtained and the analysis of the if intercommunication coefficient of magnetic circuit and inductor at different geometrical ratio in the heating system.

Л. Г. Лопатина, К. И. Никитин

АЛГОРИТМ НАПРАВЛЕННОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ БЕЗ ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

На основании анализа электромагнитных и электромеханических переходных процессов электроэнергетических систем, синтезирован алгоритм органа направления мощности с одной входной величиной. Суть его работы заключается в том, что опорный сигнал формируется в виде виртуального вектора тока и с ним сравнивают реальный вектор тока. Это позволит отказаться от цепей напряжения, упростив схему подключения, повысив надежность.

Ключевые слова: направление мощности, токовая защита, угол между током и напряжением.

Введение. В релейной защите реле направления мощности (РНМ) используется для определения направления мощности в сетях с двухсторонним питанием или в кольцевых сетях [1]. Защита КА1 (рис. 1) блокируется РНМ KW1, если повреждение произошло в К2 на отходящем от шин смежном присоединении подстанции. В этом случае через защиту мощность протекает из линии к шинам. При коротком замыкании (КЗ) в К1 (на защищаемой линии) и протекании мощности от шин в линию РНМ разрешает срабатывать защите.

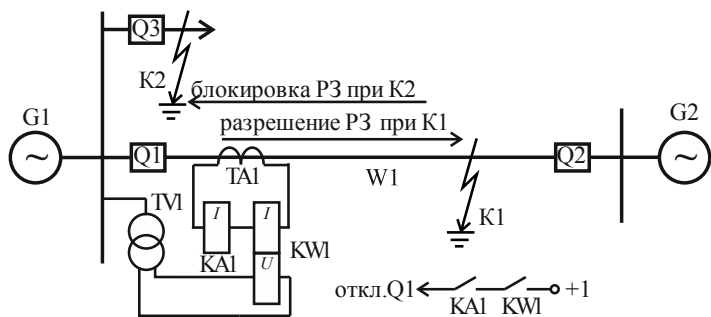


Рисунок 1 – Схема подключения с двухсторонним питанием

Для работы РНМ к нему подводятся два сигнала – ток I (от цепей трансформатора тока – ТА1) и в качестве опорного сигнала – напряжение U (от цепей трансформатора напряжения – TV1).

Актуальность. В релейной защите для определения направления мощности в качестве опорного сигнала используется напряжение трансформатора напряжения TV1. В этих цепях возможны повреждения, тогда перегорают предохранители. Чтобы не было излишних срабатываний защит используются специальные блокировки. Но 1996 г. в США произошло понижение напряжения при перегрузке трансформатора напряжения, что привело к излишнему срабатыванию дистанционной защиты, из-за чего была спровоцирована крупная системная аварии. Ущерб от нее составил около 800 млн. долларов [2]. Из-за возможных отказов, излишних и ложных срабатываний от повреждения в цепях ТН для повышения надежности в данной статье предлагается алгоритм для реализации РНМ с одной входной токовой величиной (без входных цепей напряжения).

Анализ переходных процессов и синтез алгоритма. Из-за разницы в физических процессах изменения длительности периода в электроэнергетических системах: электромеханические переходные процессы имеют большую инерцию (несколько секунд) [3], а изменение угла при электромагнитных переходных процессах при КЗ или переключении нагрузки происходит на протяжении одного периода промышленной частоты [4]. Использование этого различия стало возможным построение РНМ с одним входным токовым сигналом. Так как длительность периода при стабильной частоте ($f=50$ Гц) равна углу $t=2\pi$, то угол сдвига фазы в динамике определяют как приращение (разницу) между продолжительностью предыдущего t_{n-1} периода и продолжительностью текущего t_n периода тока, умноженную на масштабный коэффициент k , который равен 18000 град/сек. Одновременно можно реализовать токовую защиту в РНМ, для этого измеряют дополнительно величину тока электроустановки I_n и сравнивают с уставкой тока I_y . Таким образом в каждый период находят угол между текущим значением периода тока и сформированным опорным сигналом как $\Delta t = t_{n-1} - t_n$, с учетом коэффициента k найдем $\Delta\varphi_{n-1} = k \Delta t_{n-1}$ и $\Delta\varphi_n = k \Delta t_n$, тогда угол сдвига фазы за период может быть найден $\Delta\varphi = \varphi_{n-1} - \varphi_n$ или $\Delta\varphi = k \Delta t = k (t_{n-1} - t_n)$. Оценивая соотношения найденных параметров с уставками (при соблюдении всех трех условий) определяем является ли данный режим аварийным или рабочим:

$$\varphi_0 + \Delta\varphi > \varphi_{y1}, \quad (1)$$

$$\varphi_0 + \Delta\varphi < \varphi_{y2}, \quad (2)$$

$$I_n > I_y. \quad (3)$$

Если условия (1, 2 и 3) выполняются на протяжении всей выдержки времени $t_{B,B}$, то по её истечении защита подаёт сигнал на отключение электроустановки. Реализация направленной защиты по данному алгоритму позволяет использовать один входной токовый сигнал и обойтись без цепей напряжения [5, 6]. Рассмотрим несколько наиболее распространенных режимов:

а) Диаграмма установившегося нормального режима изображена на рис. 2а. В таком режиме отсутствует приращение угла и продолжительность каждого из них равна 0,02 с. Поскольку предлагаемый РНМ использует динамический принцип действия, то при его включении нужно выставить начальный угол $\varphi\theta$, который соответствует данному режиму (рис. 3а). После измерения $\varphi\theta$ и его установки в РНМ в нормальном режиме приращение на протяжении наблюдаемых периодов (рис. 2а) между предыдущим и последующим будет равно $\Delta t = t_{n-l-m} = 0$. Ни одно из условий (1) – (3) не выполняется, защита не работает.

б) Рабочий режим, с большим приращением угла нагрузки (рис. 2б), который возможен в результате включения присоединений с индуктивной нагрузкой. В этом режиме приращение угла меняется в одном периоде, в котором произошло переключения. В РНМ вычисляется текущий угол тока нагрузки $\varphi H = \varphi\theta + \Delta\varphi$. Несмотря на то, что угловые соотношения (1) и (2) будут удовлетворять срабатыванию защиты, она работает, так как величина тока линии меньше тока уставки $I_a < I_y$. – не выполняется условие (3). Векторная диаграмма с токами и их угловыми соотношениями показана на рис. 3б.

в) Режим КЗ в зоне действия защиты (рис. 2в) в точке К1 (рис. 1) с током I_K . Как в предыдущем режиме в РНМ вычисляется текущий угол тока КЗ, как в $\varphi K = \varphi\theta + \Delta\varphi$ (рис. 3в). В данном режиме и угловые соотношения (1), (2) будут удовлетворять условиям срабатыванию защиты, и величина тока $I_a = I_K$ линии будет удовлетворять условию срабатыванию (3).

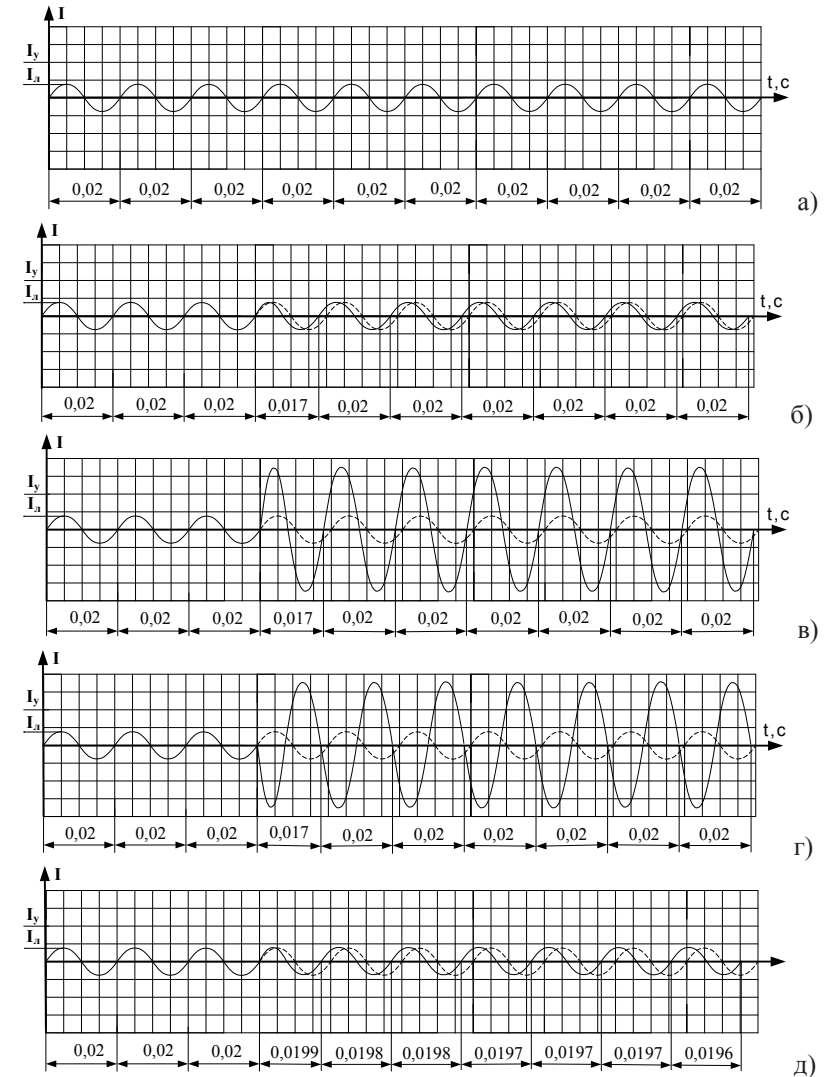
г) Режим КЗ вне зоны действия защиты (рис. 2г) в точке К2 (рис. 1) с током I_K . Определяется текущий угол тока КЗ $\varphi K = \varphi\theta + \Delta\varphi$. После вычисления φK сравнивается угловое соотношение (1), которое выполняется, а (2) – не выполняется, хотя и ток $I_a = I_K$ линии (рис. 3г) будет удовлетворять условию срабатыванию (3).

д) В электроэнергетической системе с избыточной мощностью при отключении большой доли активной нагрузки начинается увеличиваться частота (рис. 2д). Этот процесс носит длительный характер на протяжении нескольких секунд. Фиксирование факта увеличения частоты происходит при постоянном уменьшении времени периода промышленной частоты на протяжении нескольких секунд.

е) Уменьшение частоты происходит обычно в дефицитной электроэнергетической системе при аварийном отключении генерирующего агрегата начинается (рис. 2е). Этот процесс также носит длительный характер на протяжении нескольких секунд, и его фиксируют при постоянном увеличении длительности периодов промышленной частоты.

Реализация токовой направленной защиты рационально осуществить на микроконтроллере (МК). Приведем алгоритм (рис. 4) работы устройства.

Он состоит из следующих, последовательно соединенных операций: ввод эталонных величин, измерение тока электроустановки, вычисление временного эквивалента между током и сформированным опорным сигналом, фиксация перехода синусоиды тока через “0”, передача содержания таймера в первую, вторую и третью ячеек памяти, вычисление разницы между значениями первой ячейки памяти и второй, вычисление разницы между значениями второй ячейки памяти и третьей, сравнение текущей длительности периода с предыдущей.



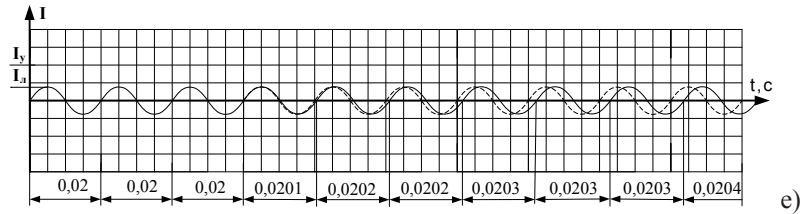


Рисунок 2 – Временные диаграммы режимов: а) нормальный установившейся режим, без приращения угла нагрузки; б) Рабочий режим, с большим приращением угла нагрузки; в) режим КЗ в зоне действия защиты; г) режим КЗ вне зоны действия защиты; д) режим увеличения частоты в системе; е) режим уменьшения частоты в системе.

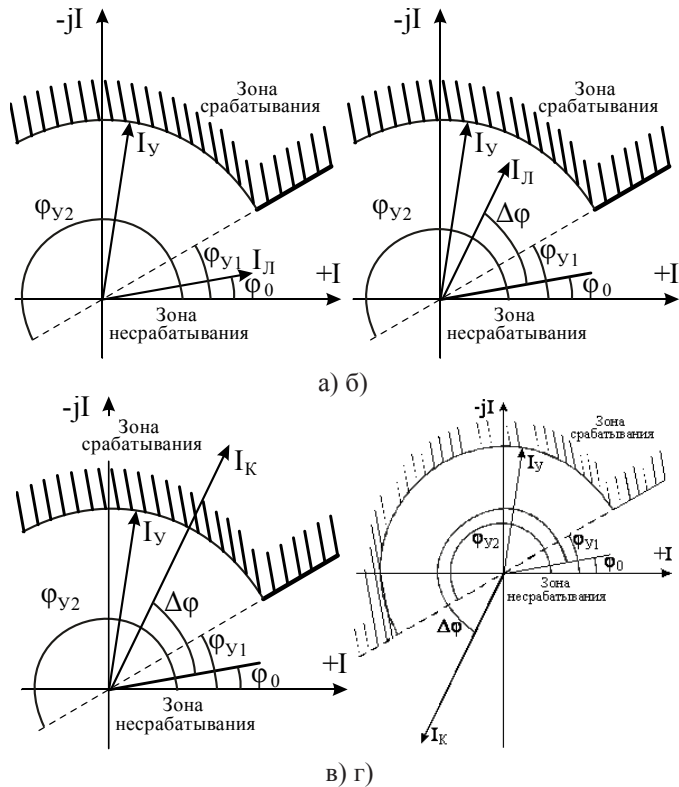


Рисунок 3 – Временные диаграммы режимов: а) начальный угол φ_0 и установки φ_{y1} , φ_{y2} , I_y в комплексной плоскости тока; б) приращение угла $\Delta\varphi$ в рабочем режиме с током с ЛЛ; г) приращение угла $\Delta\varphi$ с током КЗ I_k ; г) приращение угла $\Delta\varphi$ с током КЗ I_k вне зоны действия защиты

Выводы. Таким образом, РНМ и токовые защиты построенные на предлагаемом принципе реагируют на КЗ в зоне действия защиты, не срабатывают при КЗ вне зоны действия защиты и при изменении направления мощности в линии в рабочем режиме.

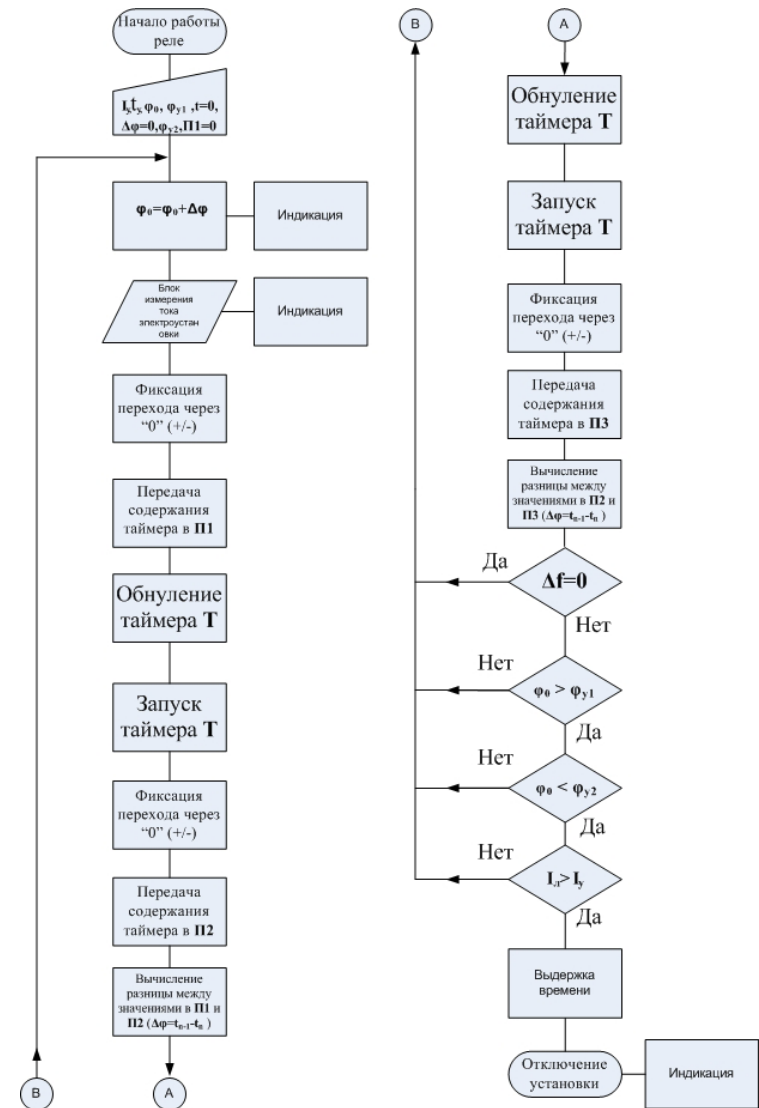


Рисунок 4 – Алгоритм работы устройства

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Федосеев, А. М.** Релейная защита электроэнергетических систем : Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / А. М. Федосеев, М. А. Федосеев. – М. : Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.

2 **Кошцев, Л. А., Семенов, В. А.** Системные аварии в Западном энергообъединении США // Электричество. – 1997. – № 10. – С. 24-28.

3 **Веников, В. А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1985. – 536 с., ил.

4 **Ульянов, С. А.** Электромагнитные переходные процессы. – М. : Энергия, 1970.

5 Пат. 2244994 Российская Федерация, МПК7 H02H 3/38. Способ определения направления мощности токовых защит / К. И. Никитин ; заявитель и патентообладатель Омский государственный технический университет. – № 2003120761/09; заявл. 07.07.2003; опубл. 20.01.2005, Бюл. № 2

6 **Никитин, К. И.** Токовый принцип определения направления мощности для релейной защиты // Омский научный вестник. – 2012. – № 2 (108). – С. 229-233.

7 **Никитин, К. И.** Определение направления мощности токовых защит с одной входной величиной // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: тезисы докл. III Междунар. науч.-техн. конф. СИГРЭ. (Санкт-Петербург, 30 мая – 03 июня 2011). – С. 36-37.

«Омский государственный технический университет», Омск, Россия.
Материал поступил в редакцию 13.09.14.

Л. Г. Лопатина, К. И. Никитин

Күрмеусіз кернеудің бағытталған тоқтық қорғау алгоритмі

«Омбы мемлекеттік техникалық университеті», Омбы, Ресей.
Материал 13.09.14 редакцияға түсті.

L. G. Lopatina, K. I. Nikitin

Algorithm of the directional overcurrent protection with no voltage circuits

«Omsk State Technical University», Omsk, Russia.
Material received on 13.09.14.

Электрэнергетикалық жүйелердің электрмагниттік және электрмеханикалық ауыспалы үдерістерін талдау негізінде бір тесікті олішеммен күштің бағытының алгоритмі жинақталған.

Based on the analysis of current electromagnetic and electromechanical transients of electrical power systems, an algorithm of the power direction organ with a single input value has been synthesized. By that algorithm the reference signal is formed as a virtual current vector and compared with the real current vector. This would eliminate the voltage circuits, simplifying the wiring and improving reliability.

УДК 620.91

Б. В. Лукутин*, Е. Ж. Сарсикеев*, А. П. Кислов,
Р. М. Мустафина****

ФОРМИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ И КРИТЕРИЕВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

В статье приведены классификация и взаимосвязь технических, климатических и социально-экологических факторов и критериев энергетической эффективности для автономной энергетики.

В соответствии с ГОСТ Р 51541-99 (Энергетическая эффективность. Состав показателей.) [1] различают следующие основные показатели энергетической эффективности:

- экономичность потребления топливно-энергетического ресурса (ТЭР) для продукции при ее использовании по прямому функциональному назначению;
- энергетическая эффективность передачи (хранения) ТЭР (для продукции и процессов);
- энергоемкость производства продукции (процессов).

Показатели экономичности энергопотребления и энергетической эффективности передачи (хранения) ТЭР устанавливаются в нормативных документах по стандартизации на продукцию в виде нормативных значений, определяемых в регламентированных условиях; вводят в техническую (проектную, конструкторскую, технологическую, эксплуатационную) документацию на продукцию в виде [2]:

– нормативов потерь (расхода) энергии (энергонасителей), определяемых в регламентированных условиях использования продукции;

– норм потерь (расхода) энергетических ресурсов (энергонасителей) для конкретных условий использования продукции (реализации технологического процесса).

Показатели энергоемкости производства продукции вводят в нормативную и техническую документацию на материалы, изделия, технологические процессы.

Нормативные показатели энергетической эффективности, устанавливаемые в нормативных документах по стандартизации, разрабатывают на основе:

– достижения экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем мировом уровне развития техники и технологий;

– соблюдения нормативных требований по охране окружающей среды;

– использования имеющегося опыта нормирования показателей энергоэффективности и обоснования принимаемых значений соответствующими расчетами, экспериментами, испытаниями;

– гармонизации с международными, региональными, зарубежными национальными стандартами.

Показатели экономичности энергопотребления могут быть выражены в абсолютной или удельной форме. Абсолютная форма характеризует расход ТЭР в регламентированных условиях (режимах) работы. Удельная форма характеризует отношение расхода ТЭР к вырабатываемой или потребляемой энергии, произведенной продукции, произведенной работе в регламентированных условиях (режимах) работы.

Показатели эффективности передачи энергии задают в виде абсолютных или удельных значений потерь энергии (энергонасителя) в системе передачи энергии. Удельные показатели эффективности передачи энергии представляют собой отношение абсолютных значений потерь энергии в системе к характерным параметрам системы. К характерным параметрам относятся расстояние, на которое передают энергию (энергонаситель); исходный энергетический потенциал (исходные параметры энергонасителя); размерные характеристики канала передачи энергии.

Показатели производственной энергоемкости изготовления продукции (изделия) могут быть представлены в абсолютной и удельной формах для внесения в стандарты, технологическую, проектную и другую документацию.

Абсолютные значения показателей энергоемкости изготовления продукции характеризуют затраты топлива и энергии на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления продукции. Они выражаются в абсолютных значениях затрат энергоресурсов, приходящихся

на единицу продукции. Удельное значение показателей энергоемкости изготовления продукции характеризуется отношением абсолютного значения энергоемкости этой продукции к одному из показателей, отражающих основные эксплуатационные свойства изделия.

Показатели энергоэффективности продукции классифицируют по следующим признакам:

– группам однородной продукции (например, показатели энергоэффективности электродвигателей, паровых турбин, холодильников);

– виду используемых энергоресурсов и/или энергонасителей (например, показатели энергоэффективности использования электроэнергии, топлива (котельно-печное, моторное), тепловой энергии (горячая вода, водяной пар, хладагенты), сжатого газа, воды, находящейся под давлением, энергии физических полей (электромагнитное, акустическое, радиационное) и т.п.);

– методам определения показателей (например, расчетно-аналитический, опытно-экспериментальный, статистический, приборный, смешанный);

– области использования (например, прогнозируемые показатели, планируемые показатели, фактические показатели);

– уровню интегрированности рассматриваемого объекта (к примеру: показатели энергоэффективности станка, производственного технологического комплекса, системы энергоснабжения предприятия, региона и т.п.).

Таким образом, эффективность системы сложно представить в виде некоторой шкалы, с определенным масштабом, так как перед автономными системами зачастую стоят разные цели. Для одних систем целевым фактором является снижение себестоимости производства электроэнергии, с допустимыми перерывами в электроснабжении, для других же систем основной задачей является бесперебойное электроснабжение любой ценой. В большинстве случаев требуется соблюдение баланса между стоимостью электроэнергии и надежным электроснабжением.

Независимо от задач автономной системы энергоснабжения факторы, которые будут определять энергоэффективность системы, будут одни и те же, но с разными весовыми коэффициентами, определяющими значимость конкретного фактора по сравнению с остальными.

В общем случае все показатели, влияющие на энергоэффективность автономной системы электроснабжения, можно разделить на следующие группы: технические, климатические, социально-экологические.

Под группой технических факторов, влияющих на энергоэффективность, понимается совокупность параметров, которые зависят от оборудования систем энергоснабжения, распределения энергии и потребления ее.

Оптимальный состав оборудования, оптимальная схема электроснабжения, выдачи мощности и пр., система управления, степень автоматизации относятся к техническим факторам.

Под оптимальным выбором оборудования подразумевается такой выбор, в котором бы все оборудование максимально отвечало целям создания системы энергоснабжения, выбор должен быть соотнесен с текущим состоянием рынка и тенденций в области энергоресурсов и энергоэффективности. В понятие оборудование входят оборудование на электростанции, устройство ЛЭП и трансформаторов и оборудование потребителя.

Под схемой электроснабжения понимается схема согласования источников электроэнергии, схема передачи и распределения электроэнергии, наличие или отсутствие ступеней трансформации и прочее.

Понятие системы управления включает в себя набор принципов управления, актуальных для конкретного случая и общих принципов построения устройств управления. Степень автоматизации в системе управления есть важнейший параметр, позволяющий реализовать различные алгоритмы управления, исключить вероятность ошибок системы управления и человека. Быстродействие системы, безаварийная работа так же включаются в этот фактор.

Также к техническим факторам относятся вид и качество первичного энергоносителя (топлива), доля электрических потерь в выработке электроэнергии, доля коммерческих потерь в выработке электроэнергии.

Климатические факторы оказывают влияние на выбор схемы электроснабжения, особенно, если таковая включает в себя источник энергии на базе возобновляемых источников энергии. Природно-климатические факторы – это средняя температура за период времени (сутки, месяц, год); средняя продолжительность светового дня и темного времени суток (года); средняя скорость и направления ветра; природный потенциал возобновляемых источников энергии.

Уровень благосостояния населения, степень развития транспортной инфраструктуры, степень развития информационных технологий, наличие заповедных территорий, дополнительные экологические требования к источникам питания (шум, вибрация, выбросы в атмосферу, гидросферу и литосферу) определяют социально-экологические факторы. Под группой локальных социально-экологических факторов также понимаются особенности, характерные для конкретной области. Например, в некоторых регионах пики нагрузки приходятся не на зимнее время, как в большинстве регионов, а на осень или лето. Это может быть связано с заготовкой дикоросов, леса, рыбы и прочего. Локальные особенности могут оказать серьезное влияние на выбор схемы электроснабжения и требуют детального и местного изучения.

В качестве вывода можно сказать, что факторы, влияющие на энергоэффективность, определяются индивидуально для каждого района, с учетом большого количества статистических данных и особенностей района.

Критерии энергоэффективности автономной системы электроснабжения формируются путем объединения факторов в группы и присвоения им, в зависимости от цели и приоритетов системы автономного электроснабжения, определенных весовых коэффициентов.

К наиболее значимым критериям энергетической эффективности можно отнести следующие: коэффициент полезного действия генерации, коэффициент полезного действия передачи, коэффициент полезного действия потребления, степень использования установленных мощностей агрегатов, находящихся в работе, коэффициент готовности электрооборудования, расход топлива.

В составе технических, климатических и социально-экологических факторов имеется ряд параметров и коэффициентов, характеризующих определенный фактор.

Взаимосвязь влияющих факторов и критериев энергоэффективности можно представить в виде структурной схемы, представленной на рисунке 1.

На энергоэффективность генерирующих установок влияют вид, состав и мощность оборудования для выработки электрической (тепловой) энергии. Наибольшее влияние данный фактор оказывает на коэффициент полезного действия генерации, который принимается за критерий энергетической эффективности автономной системы.

Энергоэффективность передающих установок зависит от параметров линий электропередачи, режимов их работы, а также схем распределения электрической энергии. Наибольшее влияние данный фактор оказывает на коэффициент полезного действия передачи, который принимается за критерий энергетической эффективности автономной системы.

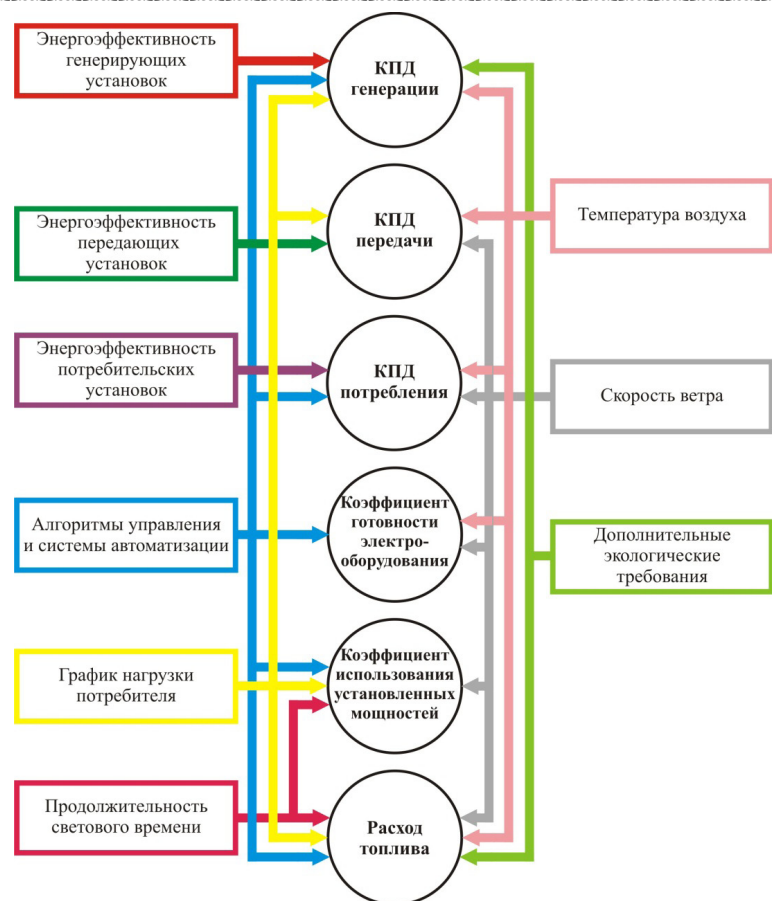


Рисунок 1 – Влияющие факторы и критерии энергетической эффективности

На энергоэффективность потребителей влияют способ преобразования электрической энергии, состав и количество электроприемников, режимы их работы. Наибольшее влияние данный фактор оказывает на коэффициент полезного действия потребления, который принимается за критерий энергетической эффективности автономной системы.

Под алгоритмами управления и системами автоматизации понимается степень автоматизации объектов автономной системы электроснабжения на базе определенных алгоритмов с целью экономии топлива, оптимального распределения нагрузки и т.д. Данный фактор оказывает влияние практически на все приведенные критерии энергоэффективности за исключением КПД

передачи. Системы управления объектами автономной энергетики позволяют повысить коэффициент полезного действия генерации и потребления электроэнергии, при этом повышается вероятность технической готовности оборудования к выполнению технологических функций, а также позволяют оптимально загружать работающее оборудование, тем самым уменьшать удельный расход топлива.

Под графиком нагрузки потребителя понимаются параметры, характеризующие мощность, регулярность, характер нагрузки. Данный параметр оказывает влияние на КПД генерации и передачи, распределение нагрузки, а также суммарный расход топлива.

Под продолжительностью светового времени понимается время солнечного излучения, достаточного уровня в течение суток. Данный фактор оказывает влияние на загрузку оборудования и соответственно расход топлива для питания преимущественно осветительных приборов.

Температура воздуха, как климатический фактор, оказывает значительное влияние на такие критерии как КПД генерации, передачи и потребления. Низкая температура воздуха значительно снижает надёжность электроснабжения и увеличивает расход топлива.

Скорость ветра оказывает влияние на КПД передачи и потребления электроэнергии, большие скорости ветра повышают вероятность аварийности на объектах малой энергетики, а также в случае ветродизельных систем увеличивается доля электроэнергии, вырабатываемой от ветроэлектростанции, что приводит к перераспределению нагрузки между источниками и уменьшению расхода топлива.

Под дополнительными экологическими требованиями понимаются минимальный уровень шума, вибрации, выбросов в атмосферу и литосферу. Данный фактор влияет в первую очередь на КПД генерации, а также на расход топлива.

Следует отметить, что в различных условиях приведенные факторы будут оказывать разное влияние. Поэтому приведение полной взаимосвязи факторов и критериев нецелесообразно.

В настоящей статье приведены понятия и категории энергетической эффективности для электроэнергетики в целом, а также выявлены факторы и критерии непосредственно для автономной энергетики.

В целом на энергетическую эффективность малой энергетики влияет ряд факторов, которые образуют три характерные группы: технические, климатические и социально-экологические. Для автономной энергетики впервые приведены классификация и взаимосвязь факторов и критериев энергетической эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 14-08-90106 Киргизия-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р 51541-99. Энергетическая эффективность. Состав показателей.
2 Энергоэффективность в России. Скрытый резерв. Аналитический сборник. – М. : изд-во Международной финансовой корпорации, 2010. – 164 с.

*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, г. Томск;

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

Материал поступил в редакцию 01.10.14.

*Б. Лукутин**, *Е. Сарсикеев**, *А. Кислов***, *Р. Мустафина***

Энергияжабдықтау автономды жүйелерінің мысалында энергия тиімділігінің критерийлерін және факторларын қалыптастыру

*Томбы саясы техникалық
Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ.;

**С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 01.10.14 баспаға түсті.

*B. Lukutin**, *E. Sarsikayev**, *A. Kislov***, *R. Mustafina***

Formation of energy efficiency factors and criteria on the example of autonomous power supply systems

*National research Tomsk
Polytechnic University, Tomsk, Russia;

**Pavlodar State University
named after S. Toraiyrov, Pavlodar.

Material received on 01.10.14.

Мақалада автономды энергетика үшін энергетикалық тиімділігінің техникалық, климаттық және әлеуметтік-экологиялық факторлары мен критерийлерінің жіктелісі мен өзара байланыстары келтірілген.

The article deals with the classification and correlation of technical, climatic and socio-environmental factors and energy efficiency criteria for autonomous power.

УДК 620.91

***Б. В. Лукутин**, *М. А. Сурков**, *Е. Ж. Сарсикеев**,
*Р. М. Мустафина***, *Д. Б. Мустафина****

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОНОМНОЙ
ВЕТРОДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ**

В статье рассмотрены вопросы разработки математической модели автономной ветродизельной электростанции на переменных оборотах для повышения энергоэффективности работы оборудования.

В зависимости от надежности работы системы энергообеспечения находится не только эффективность функционирования отраслей народного хозяйства, но здоровье и жизнь людей: дефицит электрической энергии приводит к значительному снижению производительности труда и показателей системы жизнеобеспечения человека.

Для электроснабжения автономных, отдаленных от энергосистем потребителей используются дизельные и бензиновые электростанции. Дизельные электростанции (ДЭС) получили более широкое распространение в автономном электроснабжении по следующим причинам: они более экономичны в эксплуатации и обладают высоким моторесурсом, К недостаткам относится то, что топливная составляющая (до 60 %) определяет основную часть себестоимости выработанной на ДЭС электроэнергии. Вследствие чего становится актуальной проблема применения возобновляемых источников энергии для экономии органического топлива и повышения энергоэффективности электроснабжения автономных потребителей электроэнергии.

Цель данной статьи заключается в разработке математической модели для определения энергоэффективных рабочих режимов оборудования автономных ветродизельных электростанций, включающих двигатели с переменной частотой вращения.

Моделирование инверторной ДЭС средствами MATLAB требует создания интерполятора функции двух переменных, имитирующих взаимосвязь аргументов – скорости вращения вала, мощности двигателя и абсолютного расхода топлива.

Для построения графика функциональной зависимости мощности двигателя, крутящего момента и удельного эффективного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала двигателя используем известные эмпирические формулы С. Р. Лейдермана [1]

$$N_{ex} = N_{e.max} * [A * n_{ex} / n_N + B * (n_{ex} / n_N)^2 - C * (n_{ex} / n_N)^3] \text{ кВт}, \quad (1)$$

где A, B, C – эмпирические коэффициенты (для четырехтактных дизелей $A = 0.53$; $B = 1.56$; $C = 1.09$, для дизельных двигателей с непосредственным впрыском $A = 0.87$, $B = 1.4$; $C = 1.0$);

$N_{e.max}$ – максимальная мощность двигателя;

n_{ex} – некоторые выбранные значения частоты вращения коленчатого вала двигателя в минуту;

n_N – максимальное значение частоты вращения коленчатого вала.

Для определения удельного эффективного расхода топлива для выбранного диапазона частоты вращения коленчатого вала двигателя используем формулу

$$q_{ex} = q_{eN} * [1,55 - 1,55 * n_{ex} / n_N + (n_{ex} / n_N)^2] \text{ г/кВт*ч}, \quad (2)$$

где q_{eN} – максимальный удельный эффективный расход топлива;

n_{ex} – некоторые выбранные значения частоты вращения коленчатого вала двигателя в минуту;

n_N – максимальное значение частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Крутящий момент двигателя рассчитаем по формуле

$$M_{ex} = 9550 * N_{ex} / n_{ex}, \text{ (Н*м)} \quad (3)$$

где N_{ex} – значения мощности;

n_{ex} – некоторые выбранные значения частоты вращения коленчатого вала двигателя в минуту.

Расчёты нормативного расхода топлива (НУР) по дизельным электростанциям выполняются на основе паспортных данных дизель-генераторов (ДГ), нагрузочных характеристик дизелей, регулировочных характеристик ДГ, принимаемых по справочной литературе или по данным заводов-изготовителей оборудования.

В паспортных и справочных данных указываются технические параметры, соответствующие режиму номинальной мощности ДГ: удельный расход топлива, коэффициент полезного действия (КПД) генератора, мощности дизеля и дизель-генератора и т.д.

Абсолютный расход топлива каждым i -ым ДГ на отпуск электроэнергии определяется по формуле

$$B_{эдг.i} = (b_{e(ном).i} * K_{изн} * K_{реж.i} * \mathcal{E}_{выр.i} * 10^{-3} \eta_{ген.i} + B_{xx.i} * n_{xx.i} * \tau_{x.i}) * \times Q_{7000-Q_{ут.i}} \text{ 7, т у.т.} \quad (4)$$

где $b_{e(ном).i}$ – удельный расход топлива дизелем при номинальной мощности (по паспортным данным), г/кВт*ч;

$K_{изн}$ – коэффициент износа; для ДГ, прошедших капитальный ремонт или с истекшим сроком службы принимается равным 1,05;

$K_{реж.i}$ – режимный коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива при работе ДГ с нагрузкой, меньшей номинальной, определяется по формуле

$$K_{реж.i} = b_{e.i} / b_{e(ном).i}$$

где $b_{e.i}$ – удельный расход топлива на рассматриваемом долевом режиме, г/кВт*ч.; определяется по нагрузочной характеристике дизеля, которая приводится в технической документации или принимается по справочным данным. При отсутствии расходной характеристики коэффициент $K_{реж.i}$ может быть рассчитан по эмпирической формуле

$$K_{реж.i} = 0,87 + 0,13 * N_{ном.i} / N_{ф.i}$$

$\mathcal{E}_{выр.i}$ – планируемая выработка электроэнергии ДГ, тыс.кВт*ч рассчитывается по следующему выражению:

$$\mathcal{E}_{выр.i} = \mathcal{E}_{выр(ДЭС)} * N_{ном.i} / \sum N_{ном.i}, \text{ тыс.кВт*ч},$$

где $\mathcal{E}_{выр(ДЭС)}$ – планируемая выработка электроэнергии по ДЭС в целом, тыс.кВт*ч;

$N_{ном.i}$ – номинальная мощность ДГ, кВт;

$\eta_{ген}$ – КПД генератора.

Если в расчётах используется удельный расход топлива дизель-генератора, то из формулы (4) КПД генератора исключается. При отсутствии данных по изменению КПД генератора от нагрузки может быть использована следующая зависимость:

$$\eta_{ген} = 1 - (1 - \eta_{ген(ном)}) * (1 + A) * (2 * A) \quad (5)$$

где $A = (1 + N_{ф.i} / N_{ном.i})$;

$N_{ф.i} = \mathcal{E}_{выр.i} * 10^3 / \tau_{раб.i}$, кВт

$\tau_{раб.i}$ – число часов работы ДГ в регулируемом периоде, ч;

$B_{xx.i}$ – средний часовой расход топлива при работе ДГ на холостом ходу, т/ч; принимается по паспортным данным;

$n_{xx.i}$ – количество пусков ДГ за период регулирования;

τ_{xx} – продолжительность работы дизеля на холостом ходу, ч;

$Q_{ут.i}$ – отпуск тепла от котла-утилизатора, Гкал;

$$Q_{\text{ут.и}} = G_{\text{в.и}} \times (t_2 - t_1) \times 10^{-3} \times \tau_{\text{отоп.и}} \text{ Гкал};$$

$G_{\text{в}}$ – производительность циркуляционного насоса, м³/ч;

t_1, t_2 – температуры циркуляционной воды на входе и выходе из утилизационного котла, °С;

$\tau_{\text{отоп.и}}$ – продолжительность работы системы теплоснабжения, ч.

Нормативные удельные расходы топлива по ДЭС в целом на отпуск электроэнергии рассчитываются по формуле

$$b_{\text{э(ДЭС)}} = \Delta B_{\text{эд.г}} \times K_{\text{сн}} \times 10^3 \text{ Э}_{\text{выр(ДЭС)}} \text{ г/кВт*ч} \quad (6)$$

где $K_{\text{сн}}$ – коэффициент расхода электроэнергии на собственные нужды, принимается равным 1,03 ÷ 1,04 (без учёта расхода электроэнергии циркуляционными насосами системы теплоснабжения).

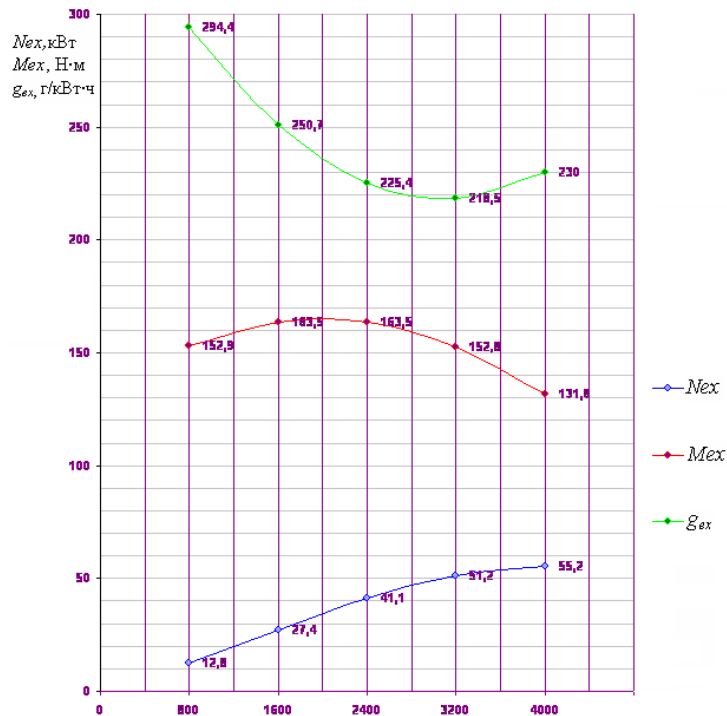


Рисунок 1 – Графики внешних скоростных характеристик дизельного двигателя Д-452

По результатам расчетов с использованием формул (1–3) строим графики функциональной зависимости мощности двигателя, крутящего

момента и удельного эффективного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала двигателя (рисунок 1).

На основе серии вычислений для каждого двигателя строятся графики функциональной зависимости мощности двигателя и абсолютного расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала двигателя. На рисунке 2 представлена математическая модель дизельного двигателя, которая представляет собой поверхность, устанавливающую однозначную взаимосвязь между скоростью вращения вала (n), развиваемой мощностью ДЭС (P) и абсолютным расходом топлива ДЭС (Gr).

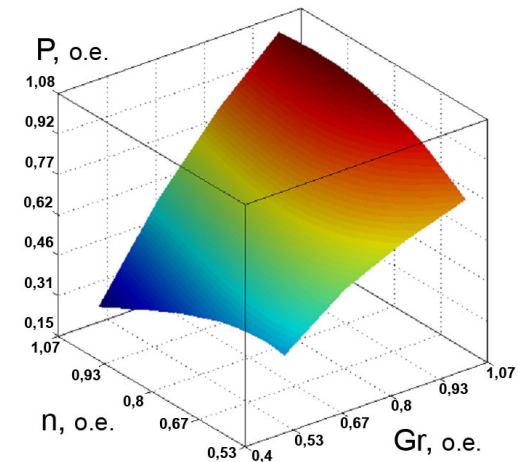


Рисунок 2 – Зависимость абсолютного расхода топлива Gr , оборотов двигателя n и развиваемой мощности P ДЭС

Разработанная математическая модель позволяет проводить оценку потребления топлива при различных нагрузках электрогенератора; кроме того, предложенная модель – часть единой модели автономной ветродизельной электростанции, позволяющая связать первичные энергоресурсы, нагрузки потребителей и процессы энергопреобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Безруких, П. П.** Ветроэнергетика: (справочное и методическое пособие). – Москва : Энергия, 2010. – 313 с.

*Национальный исследовательский

Томский политехнический университет, г. Томск;

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

Материал поступил в редакцию 01.10.14.

Б. Лукутин, М. Сурков*, Е. Сарсикеев*, Р. Мұстафина**,
Д. Мұстафина**

**Айналу жиілігі айнымалы болатын автономды жел дизельді электр
станциясының математикалық моделі**

*Томбы саясы техникалық

Ұлттық зерттеу университеті, Томбы қ.;

**С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 01.10.14 баспаға түсті.

B. Lukutin, M. Surkov*, E. Sarsikeev*, R. Mustafina**, D. Mustafina**

**The mathematical model of an autonomous wind-diesel power plant
with variable speed**

*National Research Tomsk

Polytechnic University, Tomsk, Russia;

**S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 01.10.14.

*Мақалада жабдықтың энергия тиімділігін арттыру мақсатында
айналу жиілігі айнымалы болатын автономды жел дизельді
электр станциясының математикалық моделін әзірлеу сұрақтары
қарастырылады.*

*The article discusses the mathematical model of an autonomous wind-
diesel power plant at varying speeds development to increase equipment
energy efficiency.*

УДК 681.5

**С. А. Мендыбаев, Н. Б. Байкенова, Л. И. Кривко,
М. А. Любецкая**

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

*В статье рассмотрена математическая модель
воздухонагревательной установки. Приведены основные
математические соотношения, на базе которых составляется модель.*

В настоящее время воздухонагревательные установки широко используются в различных производственных процессах. Регулирование процессов происходящих в воздухоподогревателях поддерживается использованием различных средств автоматизированных систем управления [1,2,4].

К автоматизированным системам управления калориферных установок предъявляются высокие требования, так как их тепловые и технологические режимы существенно влияют на работу самой установки и как следствие на качество и количество конечного продукта [3].

Прецизионное регулирование процесса подогрева воздуха производится с целью улучшения качества ведения технологического режима и его безопасности.

Прецизионность регулирования калориферной установки требует применения микропроцессорных средств, позволяющих:

- с высокой точностью регулировать необходимые величины;
- рассчитывать настроечные параметры регулятора;
- обеспечивать высокий уровень технологического процесса и др.

Все это позволяет не только обеспечить стабильность технологического процесса, но и существенно повысить эффективность автоматизируемого производства.

Уровень автоматизации воздухонагревательных установок, являющихся одним из основных аппаратов большинства технологических устройств в различных отраслях промышленности, существенно уступает уровню, достигнутому для других аппаратов технологических установок [5,6,7].

Это объясняется следующим:

– недостаточно изучены технологические и теплотехнические особенности воздухоподогревателей, как сложных тепловых объектов управления;

– отсутствие необходимых технологических средств и инженерных методов расчета, анализа эффективных и быстродействующих автоматических систем управления;

– недостаточная разработка математических моделей и алгоритмов управления калориферными установками различных типов и т.д.

Для решения поставленных задач была разработана математическая модель калориферной установки.

При разработке математической модели были использованы данные результатов анализа состава технического объекта и анализа состава технических средств управления.

Объект непрерывного регулирования температуры без статической ошибки дымовых газов в топочной камере с управляющим воздействием формируемого автоматическим регулятором с передаточной функцией

$$W_{T1.1} = k_{p_{T1.1}} + \frac{1}{T_{u_{T1.1}} p}$$

и управляющим воздействием, формируемого автоматическим регулятором с передаточной функцией вида:

$$W'_{T1.1} = k'_{p_{T1.1}} + \frac{1}{T'_{u_{T1.1}} p}$$

Математическое описание установленных каналов управляющих и возмущающих воздействий выделенных простейших объектов с помощью передаточных функций.

Передаточные функции объектов регулирования имеют вид статического инерционного объекта, описываемого передаточной функцией:

$$W_n = \frac{k_n}{T_n p + 1} e^{-p\tau_n}$$

Структурная схема воздухоподогревателя как объекта управления технологическими параметрами показана на рисунке 1.

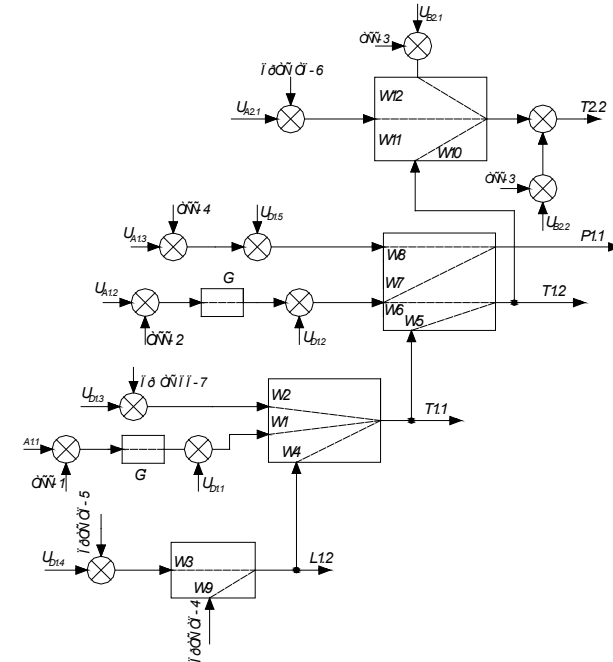


Рисунок 1 – Структурная схема воздухоподогревателя как объекта управления

Динамический процесс описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами 1-го порядка. Применение преобразования Лапласа, позволяет получить передаточную функцию системы вида:

$$W_{11}(p) = \frac{k_{11}}{T_{11} p + 1}$$

В качестве входной величины используется изменение расхода греющей среды, дымовых газов, а выходной – температура воздуха подаваемого в ствол шахты.

Таким образом, калориферная установка является статическим объектом и обладает значительной инерционностью, на которую влияют условия смешения дымовых газов в камере смешения и температура наружного воздуха [3,4].

Для определения математического описания установленных каналов возмущающих воздействий будем использовать те же самые уравнения, поскольку ведется тепловой расчет для теплового аппарата.

При этом в качестве входных величин используем в первом случае температуру нагреваемой среды, во втором – температуру наружного воздуха поступающего извне.

Применение преобразования Лапласа позволяет получить передаточную функцию вида:

$$W_{12}(p) = \frac{k_{12}}{T_{12}p + 1}$$

В качестве входной величины используется изменение температуры нагреваемой среды, а выходной – температура воздуха подаваемого в ствол шахты.

Структурная схема математической модели объекта управления составляется на базе математической модели объекта управления.

В соответствии с математическим описанием технологического процесса структурная схема подогрева воздуха приведена на рисунке 2.

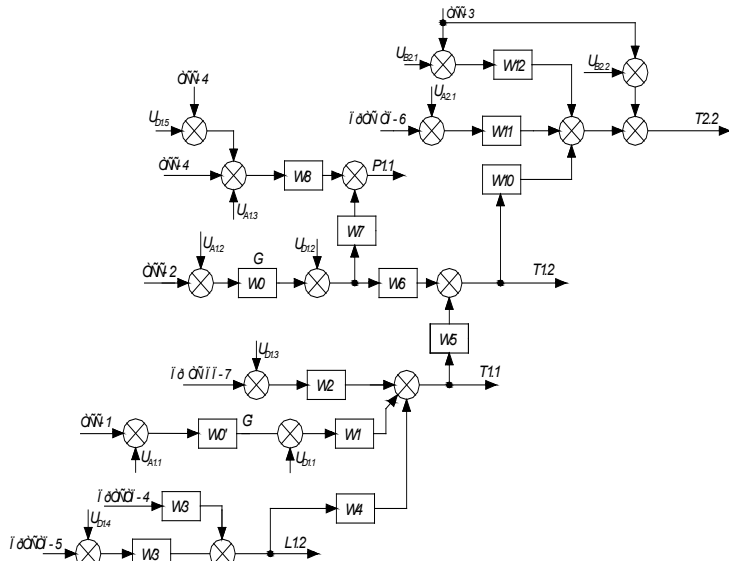


Рисунок 2 – Структурная схема математической модели технологического процесса нагрева воздуха

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Клюев, А. С., Глазов, Б. В., Дубровский, А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. 2 – М., 2005.
- 2 Краснощек, Л. Ф. Расчет и проектирование воздухонагревательных установок для систем приточной вентиляции. – Л., 2002.
- 3 Минин, В. Е. Воздухонагреватели для систем вентиляции и кондиционирования воздуха/ В.Е. Минин. – М., 2001.
- 4 Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Справочное пособие. – М., 2007.
- 5 Клюев, А. С., Глазов, Б. В., Дубровский, А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. – М., 2003.
- 6 Клюев, А. С., Лебедев, А. Т., Клюев, С. А., Товарнов, А. Г. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. – М., 2001.
- 7 Стефани, Е. П. и др. Основы расчёта настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – М., 2003.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар
Материал поступил в редакцию 12.09.14.

С. А. Мендыбаев, Н. Б. Байкенова, Л. И. Кривко, М. А. Любецкая
Ауа жылытқыш қондырғының математикалық қалыбын жете зерттеу

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 12.09.14 баспаға түсті.

S. A. Mendybaev, N. B. Baikenova, L. I. Krivko, M. A. Lubezkaia
Development of the mathematical model of the hot-blast setting
S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 12.09.14.

Мақалада ауа жылытқыш қондырғының математикалық қылыбы қырыстырылды. Математикалық қалыпты жасау үшін негіздеріне тірелген математикалық арақатынастар келтірілген.

The mathematical model of the hot-blast setting is considered in the article. Basic mathematical correlations laying at the base of that model are brought.

УДК 681.5

С. А. Мендыбаев, Н. Б. Байкенова, Л. И. Кривко

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В КАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКЕ

В статье рассмотрена математическая модель системы регулирования давления воздуха в калориферной установке. Приведены основные математические соотношения, на базе которых составляется модель.

Калориферные установки широко используются в различных производственных процессах. Регулирование процессов происходящих в воздухоподогревателях поддерживается использованием различных средств автоматизации [1,3,4,7].

Для определения более точных взаимосвязей параметров регулирования с физическими величинами составим уравнение движения звена системы регулирования давления, зависящее от положения арматуры.

При составлении уравнения движения этого звена связывают изменения давления P , воздуха в калорифере с изменением положения регулирующего клапана G .

Если клапан открыт на величину G , в калорифер за некоторый промежуток времени dt поступит ΔL единиц объема воздуха. Давления воздуха внутри камеры повысится на величину ΔP . Следовательно, можно записать [2,6]:

$$F_k \frac{d\Delta P}{\gamma \cdot dt} = \Delta L, \quad (1)$$

где F_k – площадь поперечного сечения камеры.

Количество поступающего в калорифер воздуха в самом общем случае зависит от степени открытия клапана G и давления воздуха в камере P_k . Поэтому

$$F = f(G; P_k),$$

тогда

$$\Delta L = \theta_1 \Delta G - \theta_2 \frac{\Delta P}{\gamma}, \quad (2)$$

где θ_1 – коэффициент изменения давления воздуха с изменением величины открытия задвижки;

θ_2 – коэффициент изменения расхода воздуха с изменением давления воздуха в камере.

С увеличением давления в камере P_k выше заданного, поступление избыточного количества воздуха в камеру снижается. В частном случае, если воздух подается в камеру при установившемся значении давления, второй член уравнения равен нулю и поступление воздуха зависит только от степени открытия клапан [5].

Подставив выражение (2) в выражение (1), получим:

$$F \frac{d\Delta P}{\gamma \cdot dt} + \theta_2 \frac{\Delta P}{\gamma} = \theta_1 G \quad (3)$$

Приняв, что относительная величина изменения давления воздуха в камере равна:

$$y = \frac{\Delta P}{P_0},$$

и относительная величина смещения регулирующего клапана

$$x = \frac{G}{G_0},$$

где P_0 и G_0 – номинальные значения параметров ΔP и G .

Введя эти значения, преобразовав и перейдя к операторной форме записи дифференциального уравнения, будем иметь:

$$\left(\frac{F}{\theta_2} p + 1 \right) y = \frac{\theta_1}{\theta_2} \cdot \frac{G_0}{P_0} \cdot \gamma \cdot x$$

или

$$(Tp+1) y = kx, \quad (4)$$

где $T = \frac{F}{\theta_2}$ – постоянная времени звена;

$$k = \frac{\theta_1}{\theta_2} \cdot \frac{G_0}{P_0} \cdot \gamma - \text{коэффициент усиления звена.}$$

Выражение (4) представляет собой уравнение калориферной установки как звена системы регулирования давления воздуха.

Калориферная установка как звено системы регулирования давления воздуха является статическим объектом и обладает инерционностью, на которую влияет давление воздуха в теплообменном аппарате [3].

Инерционность системы определим как:

$$\tau = l \cdot \sqrt{\frac{2gP_0}{\gamma}},$$

где l – длина проходной трубы;

P_0 – номинальное значение давления в камере.

Тогда окончательно получим:

$$W_p(p) = \frac{k_p}{T_p p + 1} e^{-\tau \cdot p}. \quad (5)$$

Динамический процесс описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами 1-го порядка. Применяя преобразование Лапласа, получим передаточную функцию системы:

$$W_{\dot{y}}(p) = \frac{k_{\dot{y}}}{p + 1} \quad (6)$$

В качестве входной величины используется изменение температуры поверхности электронагревателя, а выходной – температура воздуха на выходе с электрической калориферной установки.

Таким образом, калориферная установка является статическим объектом и обладает значительной инерционностью, на которую влияют скорость нагрева и количество подаваемого воздуха в теплообменный аппарат.

Контур регулирования давления в калориферной установке, при номинальном значении $P_0 = 355$ кПа, имеет $G_0 = 15,869$ %, скорость потока воздуха в камере $\mathcal{G}_0 = 4,076$ м/с [2].

Объем воздуха поступающий в камеру определим как:

$$Q = \mathcal{G} \cdot F, \text{ тогда } Q_0 = 4,076 \cdot 0,0323 = 0,132 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Для определения коэффициентов θ_1 и θ_2 , используем таблицу 1.

Таблица 1 – Значения переменных при номинальном и исходном состояниях системы

Переменные значения	Q , м ³ /с	\mathcal{G} , м/с	G , %	P , кПа
В исходном состоянии	0	0	0	255
При номинальном значении	0,132	4,076	15,869	355
ΔX	0,132	4,076	15,869	100

На основании выше сказанного имеем:

$$\theta_1 = \frac{0,132}{15,869} = 0,00832 \text{ м}^3/(\text{с} \times \%).$$

Коэффициент изменения расхода воздуха с изменением давления воздуха в камере:

$$\theta_2 = \frac{0,132}{100} = 0,00132 \text{ м}^3/(\text{с} \times \text{кПа}).$$

Тогда постоянная времени звена будет равна:

$$T = \frac{0,0323}{1,164 \cdot 0,00132} = 21,026,$$

коэффициент усиления звена:

$$k = \frac{0,00832}{0,00132} \cdot \frac{15,869}{355} \cdot 1,164 = 0,328$$

Инерционность системы определим как:

$$\tau = \frac{0,2}{4,076} = 0,049 \text{ с.}$$

Тогда окончательно получим:

$$W_p(p) = \frac{0,328}{21,026 p + 1} e^{-0,049 p} \quad (7)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Ключев, А. С., Глазов, Б. В., Дубровский, А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. 2 – М., 2005.

2 Краснощеков, Л. Ф. Расчет и проектирование воздухонагревательных установок для систем приточной вентиляции. – Л., 2002.

3 Минин, В. Е. Воздухонагреватели для систем вентиляции и кондиционирования воздуха/ В.Е. Минин. – М., 2001.

4 Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Справочное пособие. – М., 2007.

5 Ключев, А. С., Глазов, Б. В., Дубровский, А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. – М., 2003.

6 Ключев, А. С., Лебедев, А. Т., Ключев, С. А., Товарнов, А. Г. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. – М., 2001.

7 Стефани, Е. П. и др. Основы расчёта настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – М., 2003.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 12.09.14.

S. A. Mendybaev, N. B. Baikenova, L. I. Krivko

Калориферлік қондырғының ауа қысымын реттеу жүйесінің математикалық қылыбын жете зерттеу

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 12.09.14 баспаға түсті.

S. A. Mendybaev, N. B. Baikenova, L. I. Krivko

Development of the mathematical model of the air pressure regulation system in the heater installation

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 12.09.14.

Мақалада калориферлік қондырғының ауа қысымын реттеу жүйесінің математикалық қылыбын жете зерттеу қарастырылған. Математикалық қалыпты жасау үшін негіздеріне тірелген математикалық арақатынастар келтірілген.

In the article the mathematical model of the adjusting system of the air pressure in the heater setting is considered. The basic mathematical correlations are given that lay at the base of that model.

УДК 550.8, 519.7

Б. Г. Муканова

СТРУКТУРА И ТИПИЗАЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ БАЗЫ ГЕОРАДИЛОКАЦИЙ

В работе предлагается классификация данных и структура реляционной базы данных для работы с данными подповерхностных радиолокаций. Предлагается разделить информацию на следующие группы: данные, связанные с описанием свойств материалов и сред; данные, связанными с математическими моделями сред; данные по натурным моделям, данные по полевым экспериментам и оборудованию. Описаны структуры баз данных по свойствам сред и материалов и по математическим моделям сред; проведена типизация данных и описаны шаблоны реляционных таблиц. Приведены примеры записей таблиц.

Введение. В настоящее время высокотехнологичным направлением геофизики являются методы изучения земной коры, основанные на неразрушающих воздействиях на исследуемую среду. Особенно актуальны в этой области методы зондирования при помощи волновых методов, основанные на регистрации отклика земной коры на возбуждение акустическими, либо электромагнитными методами. В настоящей работе мы рассматриваем метод георадиолокации приповерхностных мишеней. Метод основан на регистрации и анализе отклика среды на электромагнитное возбуждение в диапазоне длинных радиоволн [1-2]. Для создания системы георадиолокаций необходимо разработать программное обеспечение. Наряду с программами для математической обработки данных, важную часть такого обеспечения образует база данных зондирований. В настоящей работе мы предлагаем структуру данных для хранения и обслуживания данных радиолокаций, основанную на реляционных принципах [3].

Структура основных таблиц базы данных радиолокаций. Данные радиолокаций могут быть разбиты на несколько групп, которые могут быть объединены в одну баз, либо разбиты на отдельные базы данных. Выбор зависит от СУБД, на основе которой будет разрабатываться клиентское

приложение. Например, если использовать Oracle, то должна быть создана единая база данных. Мы на данном этапе работ используем MySQL, которая допускает одновременную работу с несколькими базами данных. Создадим четыре базы данных реляционного типа. Будем разрабатывать структуры с возможностью дальнейшего расширения и дополнения.

Предлагается использовать английские названия для всех объектов базы данных, чтобы избежать проблем с переносом и совместимостью имен.

Приведенные далее названия баз данных, таблиц и полей являются примерными и могут быть изменены.

Мы разбили информацию на следующие четыре группы:

– данные, содержащие справочную информацию о свойствах материалов и сред – Materials;

– данные для классификации и описания математических моделей мишеней и стандартных подповерхностных структур – Math_models;

– данные для классификации и описания искусственных (лабораторных) моделей мишеней и подповерхностных структур – Media_models;

– экспериментальные данные радиолокаций и интерпретаций.

В настоящей работе мы ограничимся описанием структуры реляционной базы данных для первых двух групп информации.

Структура базы данных Materials. Основной таблицей в этой базе данных должна быть таблица с данными о электромагнитных свойствах различных сред, единицах измерения, типах материалов и их физических характеристиках, которые могут иметь значения для радиолокационных исследований. Первоначальное заполнение данных может быть выполнено на основе справочной информации о свойствах основных типов сред, далее, в процессе эксплуатации база должна быть заполнена экспериментальными данными.

Ниже мы описываем структуру таблиц этой базы данных.

Таблица 1 – Единицы измерений проводимости: «sigma_units»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
Unit_id	Integer	Идентификатор единицы измерения	Ключевое поле
Unit_name	Varchar	Наименование единицы измерения	Обязательное для заполнения(not null)
comment	Varchar	Комментарий, можно указать, в какой системе единиц принята	Допускаются значения NULL

Таблица 2 – Справочные данные для пересчета единиц проводимости «sigms_unit_ratio»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
Rec_id	Integer	Идентификатор записи	Ключевое поле
Unit_id1	Integer	Идентификатор единицы измерения	Обязательное, внешний ключ
Unit_id2	Integer	Идентификатор единицы измерения Другая единица, по отношению к которой дан коэффициент перехода	Обязательное, внешний ключ
Ratio	Double	Коэффициент перехода от единицы 1 к единице 2	Равен Unit1/Unit2

Таблица 3 – Пример записей из таблицы «sigma_unit»

Unit_id	Unit_name	comment
1	См/м	Си, сименс на метр
2	Ом ⁻¹ ·м ⁻¹	Си
3	статмо/см	СГСЭ, единица

Таблица 4 – Пример записей из таблицы «sigma_unit_ratio»

Rec_id	Unit_id1	Unit_id2	Ratio
1	1	2	1
2	1	3	8987524324.0

Справочные таблицы могут дополняться по мере необходимости данными для материалов, сред, единиц измерения

Таблица 5 - Классификация материалов и сред по типам «Material_type»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
Mat_type_Id	Integer	Идентификатор материала, среды	Ключевое поле
Mat_type	Varchar	Наименование категории материала, среды	Наименование категории материала, обязательное
Description	Varchar	Описание материала	

Comment	Varchar	Дополнительная информация, примечание	Допускаются значения NULL
---------	---------	---------------------------------------	---------------------------

Таблица 6 – Наименования материалов и сред: «Material_list»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
Material_Id	Integer	Идентификатор материала, среды	Ключевое поле
Mat_name	Varchar	Наименование материала	Наименование материала, обязательное поле
Mat_type	Integer	Идентификатор категории (типа) материала, среды	Наименование категории материала, обязательное, внешний ключ
Comment	Varchar	Дополнительная информация, примечание	Допускаются значения NULL

Таблица 7 – Примеры записей из таблицы «Material_type»

Mat_type_Id	Mat_type	Comment
1	Естественного происхождения	Смесь
2	Дорожная конструкция 1	Покрытие для взлетно-посадочных полос
3	Дорожная конструкция 2	Асфальто-бетонное покрытие автострады

Таблица 8 – Пример записей из таблицы «Material_list»

Material_Id	Mat_name	Mat_type	Comment
1	Глина	1	Справочник геофизика
2	Суглинок	1	Справочник геофизика
3	Дорожная конструкция	3	
4	Дорожная конструкция	2	

Таблица 9 – Данные о электрической проницаемости сред и удельных проводимостях «El_properties»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
Id_p	Integer	Идентификатор записи	Ключевое поле таблицы
Material_Id	Integer	Идентификатор материала, среды	Обязательное, внешний ключ

Mat_type	Integer	Идентификатор категории (типа) материала, среды	Обязательное, внешний ключ
Eps_min	Double	Диэлектрическая проницаемость при максимальной влажности	По умолчанию заполняется единицей
Eps_max	Double	Диэлектрическая проницаемость при минимальной влажности	По умолчанию заполняется единицей
Sigma_max	Double	Максимально возможное значение удельной проводимости для данного материала	Допускаются значения NULL По умолчанию заполняется нулем
Sigma_min	Double	Минимально возможное значение удельной проводимости для данного материала	Допускаются значения NULL По умолчанию заполняется нулем
Sig_unit	Integer	Идентификатор единицы измерения проводимости	Допускаются значения NULL По умолчанию заполняется нулем
mu	Double	Коэффициент диэлектрической проницаемости	По умолчанию заполняется единицей

Таблица 10 – Пример записей из таблицы «El_properties»

Id_p	Material_Id	Mat_type	Eps_min	Eps_max	Sigma_max	Sigma_min	Sig_unit	mu
1	1	1	4	16.0	0.05	0.0002	1	1.0
2	3	3	5	10.0	0.0002	0.00002	1	1.0

Структура базы данных Math_models. Опишем теперь структуру таблиц для классификации и описания математических моделей мишеней и стандартных подповерхностных структур – Math_models.

В геофизике существует несколько стандартных типов моделей сред, которые сравнительно хорошо изучены поддаются математическому моделированию при помощи аналитических и численных методов [4]. Эти модели сред включают в себя следующие типы распределения электрических свойств:

- вертикально слоистые среды с кусочно-постоянными электрическими характеристиками;
- локальные двумерные включения простой геометрии (прямоугольник, эллипс);
- локальные трехмерные включения простой геометрии (параллелепипед; эллипсоид вращения);
- приповерхностные включения простой формы;
- вертикальные контакты;
- распределения по типу горста, грабена.

Для проведения интерпретации данных радиолокаций система базы данных должна содержать примеры синтетических радарограмм над такими модельными средами. Эти данные должны быть классифицированы и размещены в соответствующих таблицах. Мы предлагаем следующую структуру таблиц:

Таблица 11 – Математические модели сред: «Math_models»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
M_id	Integer	Идентификатор записи	Ключевое поле
Model_type	Varchar	Наименование типа модели	Обязательное
Description	Varchar	Комментарий, описание	

Таблица 12 – Пример записей из таблицы «Math_models»

M_id:	Model_type	Description
0	Vertically layered	Вертикально слоистая среда
1	Local 2D inclusion	Двумерное локальное включение с прямоугольным сечением
2	Local 2D inclusion	Двумерное локальное включение с эллиптическим сечением
3	Local 3D inclusion1	Трехмерное локальное включение в виде параллелепипеда
4	Local 3D inclusion2	Трехмерное локальное включение в виде эллипсоида

5	Underground 2D relief	Погребенный двумерный рельеф
6	Underground 3D relief	Погребенный трехмерный рельеф
7	Combined 0 and 1 types	Комбинированный тип – локальное 2D включение внутри слоистой среды
...

Таблица 13 – Описание вертикально-слоистой модели «Layers»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
M_id	Integer	Идентификатор записи	Ключевое поле
L_number	Integer	Число слоев	По умолчанию три, максимально пять
h1	Double	Подошва первого слоя в метрах	Обязательное
Sig1	Double	Удельная электропроводность первого слоя в сименсах / метр	Обязательное
h2	Double	Подошва второго слоя в метрах	Не обязательное
Sig2	Double	Удельная электропроводность второго слоя в сименсах / метр	Не обязательное
h3	Double	Подошва третьего слоя в метрах	Не обязательное
Sig3	Double	Удельная электропроводность третьего слоя в сименсах / метр	Не обязательное
h4	Double	Подошва четвертого слоя в метрах	Не обязательное
Sig4	Double	Удельная электропроводность четвертого слоя в сименсах / метр	Не обязательное

Sig5	Double	Удельная электропроводность пятого слоя в сименсах / метр	Не обязательное
....	Далее описываем поля для диэлектрической проницаемости слоев
Description	Varchar	Комментарий, описание	Не обязательное

Аналогично формируем таблицы Inclusion, Relief, CombinedModels, Others – для моделей типа локальных включений, рельефа и возможных других конфигураций, которые могут быть дописаны в базу данных по мере необходимости.

Таблица Inclusion – для описания моделей локальных двумерных и трехмерных включений. Мы учитываем включения, имеющие форму прямоугольного параллелепипеда, трехосного эллипсоида, с ориентацией главных осей, параллельной осям координат, двумерные включения, имеющие в сечении форму эллипса и прямоугольника. Так как при одной и той же геометрии будут проводиться моделирования с разными электрическими свойствами, мы выделяем в отдельную таблицу данные о геометрии модели и результатах численных экспериментов

Таблица 14 – Геометрия моделей с локальными включениям «Inclusion»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
M_id	Integer	Идентификатор записи	Ключевое поле
M_type	Integer	Тип модели	По умолчанию 0, обязательное, внешний ключ связывающий с таблицей Math_models
H	Double	Глубина залегания до центра неоднородности	Обязательное
A	Double	Половина длины по оси x для параллелепипеда, либо полуось эллипсоида в направлении оси абсцисс	Обязательное

B	Double	Полуширина параллелепипеда по оси y, либо полуось эллипсоида по оси ординат	Не обязательное
C	Double	Полуширина параллелепипеда по оси z, либо полуось эллипсоида по оси аппликат	Не обязательное
Description	Varchar	Комментарий, описание	Не обязательное

Пять таблиц предназначены для записи результатов решения прямых задач радиолокаций – ModelingLayers, ModelingIncl, ModelingRelief, ModelingOthers. Эти таблицы имеют одинаковую структуру, так как хранят ссылки на расчетные данные, полученные в результате математического моделирования. Например, опишем ниже таблицу «ModelingLayers».

Таблица 15 – Структура таблицы «ModelingLayers»

Поля:	Тип данных	Описание поля	Свойства поля
Simulation_id	Integer	Идентификатор записи	Ключевое поле
Lm_id	Integer	Указывает, к какой модели из таблицы Layers относятся результаты	Внешний ключ для связи с Layers,
radarogramm	varchar	Ссылка на файл, содержащий расчетную радарограмму	Обязательное
Link1_exe	varchar	Ссылка на исполняемый файл	Не обязательное
Link2_num	varchar	Ссылка на файл, содержащий результаты расчета поля вдоль трассы в зависимости от времени	Не обязательное
Link3_graph	varchar	Ссылка на файл, содержащий результаты расчета в графическом виде	Не обязательное

Link4_graph	varchar	Ссылка на файл, содержащий результаты расчета в графическом виде	Не обязательное
Link5_graph	varchar	Ссылка на файл, содержащий результаты расчета в графическом виде	Не обязательное
Description	Varchar	Комментарий, описание	Не обязательное

Таблица 16 – Структура таблицы «ModelingInc»

Sim_id	Integer	Идентификатор записи	Ключевое поле
IM_id	Integer	Указывает, к какой модели из таблицы Inclusion относятся результаты	Внешний ключ для связи с Inclusion,
radarogramm	varchar	Ссылка на файл, содержащий расчетную радарограмму	Обязательное
Link1_exe	varchar	Ссылка на исполняемый файл, выполняющий матем. моделирование	Не обязательное
Link2_num	varchar	Ссылка на файл, содержащий параметры и результаты расчета	Не обязательное
Link3_graph	varchar	Ссылка на файл, содержащий результаты расчета в графическом виде	Не обязательное
Link4_graph	varchar	Ссылка на файл, содержащий результаты расчета в графическом виде	Не обязательное
Link5_graph	varchar	Ссылка на файл, содержащий результаты расчета в графическом виде	Не обязательное
Description	Varchar	Комментарий, описание	Не обязательное

В силу ограничений на типы данных в реляционных базах данных часть полей представляется в виде текстовых ссылок на внешние файлы. Такая структура предполагает создание пользовательского приложения, которое

позволяло бы по полученным ссылкам открывать указанные в ссылках файлы, либо запускать эти приложения. С другой стороны, такая структура является достаточно гибкой и позволяет включать в приложение работу с внешними файлами и программами.

Выводы. Описанные выше реляционные структуры обладают всеми преимуществами реляционных баз данных: структура имеет простой вид, данные хранятся в связанном виде, есть возможность расширения и дополнения баз данных без существенной перестройки основных таблиц. Использование СУБД позволяет выполнять все реляционные операции по записи, обновлению, редактированию информации и обеспечивает желаемую политику доступа и защиты данных. На основе разработанной базы данных возможна разработка пользовательских клиентских и серверных приложений для работы пользователей с данными радиолокаций.

Поддержано грантом МОН РК договор №470 от 07.03.2014 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Коростелев, Л. А., Клюев, А. Ф., Мельник, Ю. А. и др. Теоретические основы радиолокации. – М. : Советское радио, 1978. – 608 с.

2 Гришин, Ю. П., Ипатов, В. П., Казаринов, Ю. М. и др. Радиотехнические системы: учебник для вузов по специальности «Радиотехника». – М. : Высшая школа, 1990. – 496 с.

3 Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных 7-е издание. – М. : «Вильямс», 2001. – 1072 с.

4 Электроразведка: справочник геофизика в двух книгах. Книга первая./ Под ред. В. К. Хмелевского и В. М. Бондаренко. – М. : Недра, 1989. – 438 с.

Евразийский национальный университет
имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.
Материал поступил в редакцию 15.09.14.

Б.Ф. Мұқанова

Георадиолокациялар қорының деректерінің құрылымы және деректерді типтерге бөлу

Л.Н.Гумилев атындағы
Еуразия ұлттық университеті, Астана қ.
Материал 15.09.14 баспаға түсті.

B. Mukanova

Structure and data typing for Ground Penetration Radar database

Жер асты георадиолокация деректерімен жұмыс жасауға арналған реляциялық деректер қорының құрылымы және деректерінің типтері ұсынылған. Информацианы келесі топтарға бөлу ұсынылған: материалдар мен орталардың электр қасиеттерін сипаттайтын деректер; ортаның түрлі математикалық моделдерін сипаттайтын деректер; кәдімгі моделдер сипаттамалары; даладағы эксперименттер мен қолданылған аппаратураны сипаттайтын деректер. Орталар мен материалдарды сипаттайтын және математикалық моделдеуге қатысты дерек қорларының құрылымы ұсынылған. Деректерге сәйкес типтер арналып, реляциялық кестелердің сұлбалары жасалған. Кестелердегі жазулардың мысалдары келтірілген.

A classification of the data and structure of a relational database for GPR data is proposed. The information is divided to the following groups: the data associated with the description of materials and media properties; the data associated with mathematical models of media; data on full-scale models, data from field experiments and equipment. The database structure on the properties of media and materials and database for mathematical models of media are described. Data typing and description of patterns of relational tables are carried out. Several examples of table entries are given.

УДК 621.184

А. С. Никифоров, Е. В. Приходько

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ БРИКЕТНОГО ТОПЛИВА

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

В настоящее время на рынке Казахстана имеется достаточно широкий спектр источников энергии: начиная от классического органического угля и заканчивая возобновляемыми источниками энергии – солнечными батареями и ветряными генераторами. Таким образом, становится актуальным вопрос об эффективности применения источника энергии для конкретного потребителя.

Источником тепловой энергии для тепловых потребителей Павлодарского региона в частных домах, как правило, являются водогрейные котлы, сжигающие местные угли. В данной статье будет рассматриваться использование альтернативного возобновляемого источника энергии – топливных брикетов из возобновляемой органической массы. Этой органической массой могут являться: мусор, древесина, биотопливо и прочие.

Топливные брикеты из возобновляемой органической массы пока не распространены на территории Республики Казахстан, но учитывая мировые тенденции как в области сокращения использования незобновляемых источников энергии, так и с позиции экологии необходимо уделить внимание этому вопросу.

Проведём анализ использования топливных брикетов из возобновляемой органической массы в котлах малой мощности. Использование топливных брикетов возможно по двум направлениям:

– во-первых, это «классическое» сжигание брикетов на колосниковой решётке. Это наиболее простой, но наименее эффективный из рассматриваемых способов. Достоинством является надёжность, отсутствие сложных механизмов и высокой квалификации эксплуатирующего персонала. Стоит также упомянуть о низкой зольности топливных брикетов, которая составляет порядка 6-10%, что облегчает обслуживание водогрейных котлов. При использовании современных водогрейных котлов можно получить высокий КПД (около 80%) и низкое содержание вредных веществ в уходящих газах. Всё это, и дополнительно отсутствие проблем с утилизацией золы (зола многих брикетов может быть использована в качестве удобрения) создаёт предпосылки для широкого использования топливных брикетов из возобновляемой органической массы при условии стоимости брикетов не выше стоимости угля.

– во-вторых, использование брикетов в печах пиролиза. Данные печи имеют более высокий КПД (по сравнению со слоевым сжиганием) за счёт меньших потерь теплоты с недожогом. Конечно, в обслуживании они сложнее, но увеличение их числа в последнее время говорит об их преимуществах.

В качестве основы работы котла используется процесс пиролиза или так называемой сухой перегонки. Суть процесса заключается в следующем: сочетание высокой температуры и недостаточного поступления кислорода заставляет дрова без горения разлагаться на древесный уголь и пиролизный газ. Пиролизные котлы обеспечивают температуру от 200 до 800 градусов, достаточную, чтобы запустить пиролиз древесины. В процессе извлечения газа выделяется дополнительная теплота. Газ поступает в зону горения уже подогретым. На следующем этапе пиролизный газ соединяется с кислородом, содержащимся в воздухе, и сгорает. При сгорании газ вовлекает в процесс активный углерод. В результате в дымовых выбросах содержание углерода

минимально. В процессе сжигания дров невозможно получить такие высокие температуры, как при горении древесного газа, выделяемого из них. Кроме того, для горения газа необходим меньший объем вторичного воздуха, поэтому температура повышается и в результате возрастает эффективность, а также время горения. Следует отметить, что процессом сжигания древесного газа управлять легче.

Но у данного котла есть существенные минусы, такие как:

– требования к качеству топлива: не работают на топливе повышенной влажности. Топливо должно быть максимально сухими, влажность не должна превышать 20 %;

– требуется постоянная высокая нагрузка, поэтому периодически требуется докладывать топливо. При снижении порога нагрузки до 50 % в дымоходе начинают активно накапливаться продукты неполного сгорания;

– для загрузки топлива требуется топливо определенных размеров, т.е. сжигание будет происходить хуже, если размер будет несоответствующим;

– не способны к работе в полном автоматическом режиме: загрузку топлива необходимо производить вручную.

Учёными нашего университета была разработана конструкция пиролизного котла, позволяющего вести процесс производства теплоты непрерывно. Это достигается тем, что в газогенераторном котле над топочной камерой располагается бункер для топлива с дозирующим устройством для осуществления ведения непрерывного процесса горения и шибером, предназначенным для защиты бункера от попадания в него продуктов сгорания в случае аварийного выключения дымососа.

Данная конструкция позволяет повысить энергоэффективность работы газогенераторного котла вследствие возможности дозагрузки топлива в камеру сгорания печи в любой момент процесса горения.

Возможна также конструкция теплогенераторов, при которой имеется газогенератор, вырабатывающий горючий газ и установка, для преобразования химической энергии генераторного газа в электрическую.

Рассмотрим две схемы получения энергии из возобновляемых источников энергии с использованием установки для получения тепловой и электрической энергии.

В первой схеме при использовании автономной системы теплоэлектроснабжения на топливе из возобновляемых источников энергии установка включает в себя: газогенератор, работающий на возобновляемых источниках энергии; двигатель внутреннего сгорания для преобразования химической энергии газа в механическую; генератор, для выработки электроэнергии и теплообменника для утилизации выхлопных газов и выработки тепловой энергии.

Такая схема в большей мере применяется без газогенератора, при работе на природном газе. Использование же генераторного газа влечёт за собой снижение мощности генератора и, порой, его нестабильную работу. Ещё один недостаток заключается в невысоком ресурсе ДВС. Так, самые современные ДВС в данной схеме работают не более 5 лет. Но между тем, схема реальна для применения в условиях отсутствия электроэнергии, а наибольшей эффективностью она обладает при незначительном количестве часов использования в год (например, электро- и теплоснабжение дачных домиков).

Вторая схема предполагает использование генераторного газа в газовых турбинах. Современные газовые микротурбины вырабатывают от 3 кВт электричества и от 4–6 кВт тепловой энергии.

Целесообразность строительства собственной генерации успешно доказана опытом многих компаний в России. Несмотря на то, что «средние затраты на строительство объектов МГ — от \$1,5 до \$2 тысяч за 1 кВт установленной мощности» (по сравнению с \$1060 за кВт в среднем по объектам большой генерации) эти затраты окупаются более низкой стоимостью (в два-три раза) за один кВт·ч [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Михайлов, А. Н., Агафонов, А. А., Сайданов, В. Ю. Малая энергетика России классификация, задачи, применение. *Новости Электротехники*. – №5. 2005. – С. 17-22.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 12.09.14.

А. С. Никифоров, Е. В. Приходько

Брикеттік отынды колдануында және дамуына қазіргі заманауи тенденциялар

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 12.09.14 баспаға түсті.

A. S. Nikiforov, E. V. Prikhodko

Current trends in the development and use of fuel briquettes

S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 12.09.14.

Мақалада жаңартылатын ресурстардан отындық брикеттерді пайдалану тәсілдерінің сараптамасы келтірілген.

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

УДК 621.396.2

А. А. Нагорнюк, А. А. Писарчук

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВЫХ РАДИОСИГНАЛОВ С ЗАКРУГЛЁННЫМИ ФОРМАМИ ФАЗОВЫХ СОЗВЕЗДИЙ

В статье предложен подход до автоматизированного расчета несущей частоты и погрешности тактовой синхронизации радиосигналов с квадратурной амплитудной манипуляцией, имеющих закруглённые формы фазовых созвездий. Подход основан на определении максимума взаимной корреляционной функции сигнального созвездия с разделением двухмерного поиска на два одномерных и применением метода дихотомии. Приведены результаты оценивания точности метода и его расчетной сложности.

Ключевые слова: автоматизация, синхронизация, радиосигнал, частота.

В современных телекоммуникационных системах широкое применение нашли сигналы с квадратурной амплитудной манипуляцией (КАМн), которая есть одна из наиболее спектрально и энергетически эффективных видов модуляций [1, 2]. При этом для повышения энергетической эффективности модуляции формы фазовых созвездий закругляют. Именно такие формы сигнальных созвездий используются в современных стандартах MIL-STD-188-110B [3] и STANAG-4538 [4].

При приеме таких сигналов в системах радиомониторинга [5], когнитивного радио (cognitive radio) и программно определяемого радио (software defined radio) [6] возникает задача определения параметров радиосигнала в условиях априорной неопределенности. Основными параметрами сигнала, расчет которых необходим для восстановления сигнального созвездия и успешной демодуляции, есть несущая и символьная

частоты. Для определения символьной частоты можно воспользоваться методом, основанным на циклостационарных свойствах цифрового радиосигнала [7]. Реализация же классических методов определения несущей частоты в условиях априорной неопределенности [1, 2] для сигналов с закругленными формами фазовых созвездий невозможна, поскольку возведение сигнала в степень не приводит к появлению в частотном спектре доминантных гармоник, связанных с несущей частотой сигнала. Анализ существующих подходов к «слепому» определению параметров сигнала (non data aided methods) показал, что для решения этой задачи можно использовать метод, основанный на анализе взаимной корреляции символов в фазовом созвездии [8]. Однако ему присуща значительная вычислительная сложность, и, следовательно, невозможность реализации в реальном масштабе времени. Целью данной статьи есть усовершенствование метода и оценка его эффективности применительно к сигналам с закругленными формами фазовых созвездий.

Сигнальную смесь $r(t, U_i)$ на выходе промежуточной частоты радиоприемного устройства, состоящую из полезного сигнала $s(t, U_i)$ и аддитивного гауссовского шума $n(t)$, можно представить как функцию от времени t []:

$$r(t, U_i) = s(t, U_i) + n(t), \quad (1)$$

где $U_i = \left[a f_c \Theta T \varepsilon g(t) \left\{ \phi_k \right\}_{k=1}^K \left\{ s_k^{(i)} \right\}_{k=1}^K \right]$ – вектор параметров сигнала; a – амплитуда сигнала; f_c – несущая частота; Θ – начальная фаза несущего колебания; T – символьный период; ε – ошибка тактовой синхронизации; $g(t)$ – совместная импульсная характеристика формирующего фильтра и

канала связи; $\left\{ s_k^{(i)} \right\}_{k=1}^K$ – K передаваемых комплексных символов, которые берутся и i -го конечного алфавита для соответствующего вида модуляции.

Полезный сигнал с линейной цифровой модуляцией описывается формулой [2]:

$$s(t, U_i) = a_i e^{j(2\pi f_c t + \theta)} \sum_{k=1}^K s_k^{(i)}(t) g(t - (k-1)T - \varepsilon T), \quad (2)$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Для КАМн сигналов с округленными формами фазовых созвездий значение комплексных символов определяется выражением:

$$S_k^{\hat{E}\hat{A}i} = S_{k,I}^{\hat{E}\hat{A}i} + jS_{k,Q}^{\hat{E}\hat{A}i} \quad (3)$$

где индексы I та Q представляют синфазную и квадратурную составляющие отсчетов сигнала, соответствующих положению точки на фазовом созвездии.

Для 16, 32 и 64 позиционной КАМн положение точек в закругленных фазовых созвездиях показано на рис. 1.

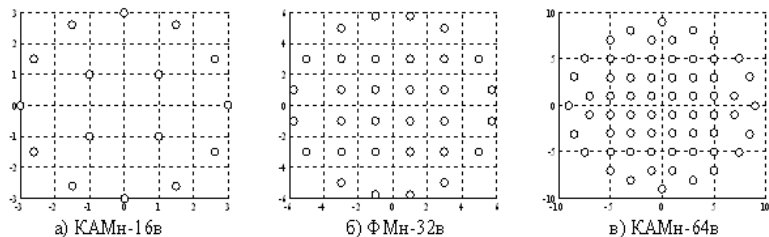


Рисунок 1 – Закругленные фазовые созвездия КАМн

а) 16-позиционная, б) 32-позиционная, в) 64-позиционная

Необходимо определить несущую частоту f_c сигнала $s(t, U_i)$ в условиях априорной параметрической неопределенности.

В соответствии с методом определения несущей частоты, основанным на взаимной корреляции символов в фазовом созвездии, основной вычислительного процесса есть минимизация двумерной целевой функции $c(R(\tau, f_c))$ [8]:

$$\tilde{n}(R(\tau, f_c)) = \sum_{m=1, k \neq m}^N \min\{|r_{k,I}(\tau, f_c) - r_{m,I}(\tau, f_c)| + |r_{k,Q}(\tau, f_c) - r_{m,Q}(\tau, f_c)|\}, \quad (4)$$

где $R(\tau, f_c)$ – двумерная функция зависимости минимальной метрики между комплексными отсчетами сигнала от опорного значения несущей частоты f_c и ошибки тактовой синхронизации $\tau = \varepsilon T$; $r_{k,I}(\tau, f_c)$, $r_{k,Q}(\tau, f_c)$, $k = 1, 2, \dots, N$ – действительная и мнимая части комплексного отсчета радиосигнала; N – количество отсчетов используемых при расчетах.

На рис. 2 представлена зависимость функции $c(R(\tau, f_c))$ от опорного значения несущей частоты f_c и ошибки тактовой синхронизации τ , рассчитанная для КАМн сигнала с кратностью манипуляции 16 при истинных значениях параметров $f_c = 1700$ и $\tau = 0.3$ мс.

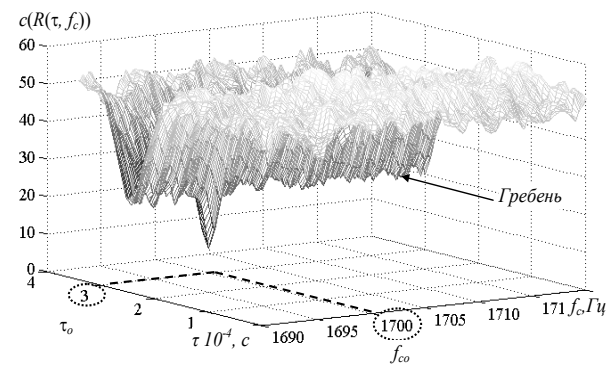


Рисунок 2 – Зависимость целевой функции $c(R(\tau, f_c))$ от параметров f_c и τ

Как показывают результаты исследований (рис. 2), для целевой функции $c(R(\tau, f_c))$ существует глобальный минимум, поэтому задача определения параметров состоит в поиске соответствующей ему пары значений f_{co} и τ_0 . Обычно это осуществляется путем полного перебора двухмерного массива данных аргументов, что требует значительных затрат вычислительных ресурсов. Однако поиск минимума можно значительно ускорить, избежав полного перебора значений аргументов, благодаря следующей особенности двумерной целевой функции. На оси частот на величине τ_0 существует гребень, позволяющий разделить двухмерный поиск глобального минимума на два одномерных.

В таком случае, первым одномерным поиском будет поиск ошибки тактовой синхронизации при константном значении несущей частоты, полученной на этапе предварительной обработки. Учитывая равномерность распределения энергетического спектра радиосигнала с цифровой линейной модуляцией по оси частот за счет использования операции скремблирования в передающем устройстве, в качестве предварительной оценки несущей частоты предлагается использовать центральную частоту спектра f_0 [9]:

$$f_0 = \frac{\sum_{n=1}^N nF \cdot W(nF)}{\sum_{n=1}^N W(nF)}, \quad (5)$$

где $W(nF)$, $n = 1, 2, \dots, N$ – значение мощности соответствующее амплитуде спектральной составляющей энергетического спектра на частоте nF и

превышающее порог определения спектра сигнала P_n [9]; F – дискретность представления энергетического спектра сигнала.

Компьютерное моделирование показало, что абсолютное расхождение центральной f_0 и несущей f_c частот КАМн радиосигналов с округлёнными формами фазовых созвездий и символьной частотой $f_{sym} \leq 12800$ Гц не превышает 50 Гц при отношении сигнал/шум (ОСШ) больше 15 дБ.

Вторым одномерным поиском будет поиск значения несущей частоты с учетом ошибки тактовой синхронизации, полученной при реализации первого поиска $\tau = \tau_0$.

Рассмотрим более детально порядок определения несущей частоты и ошибки тактовой синхронизации.

Из массива комплексных отсчетов $r(k)$ сигнала берутся L отсчетов для n -го символьного интервала:

$$\{r_{Ln+1}, r_{Ln+2}, \dots, r_{Ln+L}\}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1, \quad (6)$$

где $L = F_s T$ – количество отсчетов на символьный период; F_s – частота дискретизации.

Определяются N интерполяционных полиномов $p_n(\tau)$ порядка $L-1$ по формуле [8]:

$$p_n(\tau) = a_{n1}\tau^{L-1} + a_{n2}\tau^{L-2} + \dots + a_{nL}, \quad n = 0, 1, \dots, N-1, \quad (7)$$

где a_{ni} – коэффициенты интерполяционного полинома [8].

Рассчитываются новые значения p_n и $R(\tau, f_0)$ для временных сдвигов $k\Delta\tau$ ($k=1, 2, \dots, L/\Delta\tau-1$):

$$r_n(k\Delta\tau, f_0) = p_n(k\Delta\tau)e^{-j2\pi f_0 k\Delta\tau}, \quad (8)$$

$$R(k\Delta\tau, f_0) = \{r_1(k\Delta\tau), r_2(k\Delta\tau), \dots, r_N(k\Delta\tau)\}, \quad (9)$$

где $\Delta\tau$ – значение шага расчета по времени.

Целевая функция $c(R(t, f_0))$ рассчитывается по выражению (4). Когда $L/\Delta\tau$ значений функции $c(R(t, f_0))$ будут получены, реализуется одномерный оптимальный поиск для оценки оптимального значения τ_0 :

$$\tau_i = \arg \min \{c(R(k\Delta\tau, f_0))\}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L/\Delta\tau-1. \quad (10)$$

После получения значения $\tau = \tau_0$ реализуется второй одномерный поиск оптимального значения несущей частоты. Для этого определяется новый массив отсчетов сигнала по формуле:

$$R(\tau_i, f) = \left\{ r_1(\tau_i) e^{-j\frac{2\pi\Delta f}{F_s}} , r_2(\tau_i) e^{-j\frac{2\pi k\Delta f \cdot 2}{F_s}} , \dots, r_N(\tau_i) e^{-j\frac{2\pi k\Delta f N}{F_s}} \right\}, \quad (11)$$

где $\frac{f_{\min}}{\Delta f} \leq k \leq \frac{f_{\max}}{\Delta f}$; Δf – значение шага по частоте; $f_{\min} = f_0 - f_0/8$ – нижняя граница полосы поиска частоты; $f_{\max} = f_0 + f_0/8$ – верхняя граница полосы поиска частоты.

Целевая функция $c(R(\tau_0, k\Delta f))$ рассчитывается для всех значений k . Второй одномерный поиск для определения несущей частоты осуществляется по выражению:

$$f_{co} = \arg \min \{c(R(\tau_0, k\Delta f))\}, \quad k = \frac{f_{\min}}{\Delta f}, \dots, 0, 1, \dots, \frac{f_{\max}}{\Delta f}. \quad (12)$$

Проанализировав выражения (4 – 12) можно сделать вывод, что ошибка определения несущей частоты и времени тактовой синхронизации определяется параметрами $\Delta\tau$ и Δf , поэтому их значение не должно превышать заданных величин $\Delta\tau < 2\varepsilon_\tau$ и $\Delta f < 2\varepsilon_f$, где ε_τ , ε_f заданные абсолютные ошибки по времени и частоте соответственно. Однако уменьшение шага расчетов приводит к значительному увеличению расчетной сложности и делает невозможным использование способа в реальном времени.

Для решения этого противоречия предлагается использовать итерационный метод дихотомии [10] при одномерных поисках минимальных значений целевых функций $c(R(\tau, f_0))$ и $c(R(\tau_0, f_c))$. Такой подход можно использовать на монотонно убывающих участках целевой функции [10]. На рис. 3 представлены срезы функции $c(R(\tau, f_c))$ в двух плоскостях $-f_c$ и τ .

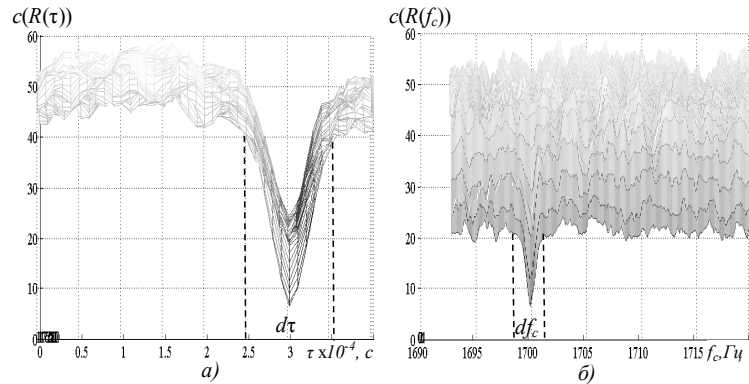


Рисунок 3 – Срезы целевой функции $\tilde{n}(R(\tau, f_c))$ в плоскостях f_c и τ

С рис. 3 видно, что при определении оптимального значения τ_0 монотонный участок целевой функции равен около четверти символического периода ($d\tau = T/4$), а при расчете оптимального значения f_0 – больше 3 Гц ($df_c = 3$ Гц). Таким образом, определение значений несущей частоты и ошибки тактовой синхронизации при одномерных поисках необходимо производить в два этапа: грубый расчет параметров с шагом по времени и частоте не больше $\Delta f_c < df_c/2$ и $\Delta\tau_c < d\tau/2$ с дальнейшим достижением необходимой точности методом дихотомии.

Рассмотрим процесс применения метода дихотомии при определении несущей частоты сигнала. В таком случае целевая функция будет иметь вид:

$$f_{cd} = \arg \min \{c(R(\tau_o, f_c))\}, \quad f_{cd} \in [f_{p1}, f_{p2}]. \quad (13)$$

где $f_{p1} = f_{co} - df_c/2$; $f_{p2} = f_{co} + df_c/2$; f_{co} – значение несущей частоты, полученное по формуле (12); f_{cd} – оценка несущей частоты, рассчитанная методом дихотомии.

На каждом шаге итерационного процесса отрезок $[f_{p1}, f_{p2}]$ делится пополам:

$$f_{pn} = \frac{f_{p1} + f_{p2}}{2}, \quad (14)$$

Рассчитываются значения функции $c(R(\tau_o, f_c))$ вблизи точки f_{pn} :

$$C_1 = c(R(\tau_o, f_{pn} - \varepsilon_f)) \quad C_2 = c(R(\tau_o, f_{pn} + \varepsilon_f)) \quad (15)$$

Если $C_1 < C_2$, то $f_{p2} = f_{pn}$, в противном случае $f_{p1} = f_{pn}$. Итерационный процесс деления продолжается до тех пор, пока длина отрезка не станет меньше заданной точности расчета несущей частоты [8]:

$$|f_{p1} - f_{p2}| \leq \varepsilon_f. \quad (16)$$

Преимуществом предложенного подхода есть простота реализации, абсолютная сходимость итерационного процесса, при этом количество необходимых итераций N_i для обеспечения заданной точности ε_f определяется по формуле [8]:

$$N_i = \log_2 \left| \frac{f_{p1} - f_{p2}}{\varepsilon_f} \right| - 1. \quad (17)$$

Количество расчетных операций усовершенствованного метода определения несущей частоты и ошибки тактовой синхронизации на основе анализа взаимной корреляции символов в фазовом созвездии определяется преимущественно количеством операций расчета двумерной целевой функции $c(R(\tau, f_c))$. Рассмотрим на сколько уменьшилось количество расчетных операций при замене двумерного поиска экстремума целевой функции двумя одномерными и применением метода дихотомии.

В случае, когда диапазон поиска несущей частоты составляет $f_w = 50$ Гц, символический период $T = 0.4$ мс, заданные абсолютные ошибки определения несущей частоты $\Delta f_w = 0.05$ Гц и времени тактовой синхронизации $\Delta\tau = 0.05T$, тогда количество расчетных операций двумерной целевой функции равно:

$$N_{o1} = \frac{f_w}{\Delta f_w} \frac{T}{\Delta\tau} = 20000. \quad (18)$$

В случае реализации двух одномерных поисков:

$$N_{o2} = \frac{f_w}{\Delta f_w} + \frac{T}{\Delta\tau} = 1020. \quad (19)$$

Применение метода дихотомии позволяет уменьшить количество операций расчетов целевой функции:

$$N_{o3} = \frac{f_w}{\Delta f_r} + \log_2 \left(\frac{2\Delta f}{\Delta f_w} \right) + \frac{T}{\Delta\tau_r} + \log_2 \left(\frac{2\Delta\tau_r}{\Delta\tau} \right) + 2 = 50, \quad (20)$$

где Δf_r – шаг грубого расчета целевой функции по частоте; $\Delta\tau_r$ – шаг грубого расчета целевой функции по времени.

Проанализировав выражения (18) – (20) можно сделать вывод, что для приведенного примера при замене двумерного поиска экстремума целевой функции двумя одномерными, количество операций по расчету целевой функции уменьшается в 20 раз, а при дополнительном применении метода дихотомии – в 400 раз.

Проверку работоспособности и оценивание эффективности способа определения параметров КАМн радиосигналов с округленными формами фазовых созвездий реализовано путем компьютерного моделирования в программной среде MATLAB 2012, а в соответствии методам статистических испытаний Монте-Карло [11]. Реализации сигналов формировались с помощью стандартных процедур пакета Communication System Toolbox и собственных процедур генерирования сигналов, которые используют математические модели сигналов, представленные в [1 – 4]. Параметры коммуникационного канала задавались гауссовой моделью и менялись для обеспечения дискретных значений ОСШ от 1 до 35 дБ. Статистическое усреднение результатов осуществлялось по 1000 реализациям для каждого набора значений параметров сигнала и канала связи.

В качестве основного критерия эффективности работы предложенного метода использовалась относительная ошибка определения несущей частоты сигнала δf_c :

$$\delta f_c = \frac{1}{N_r} \sum_{i=1}^{N_a} \frac{|f_c - f_{co}(i)|}{f_c}, \quad (21)$$

где f_c – истинное значение несущей частоты; $f_{co}(i)$, $i = 1, 2, \dots, N_r$ – массив рассчитанных значений несущей частоты; $N_r = 1000$ – количество реализаций сигнала используемых для расчетов.

Зависимости относительной ошибки определения несущей частоты для трех видов КАМн с закругленными формами фазовых созвездий с кратностями манипуляции 16 (КАМн-16в), 32 (КАМн-32в) и 64 (КАМн-64в) представлены на рис. 4. Анализ зависимостей позволяет сделать вывод, что точность расчетов ухудшается при низких значениях ОСШ, причем, чем более простое фазовое созвездие сигнала, тем ошибка будет меньше. Это связано с искажением фазового созвездия сигнала и соответствующим увеличением числа ошибок при расчете взаимной корреляционной функции.

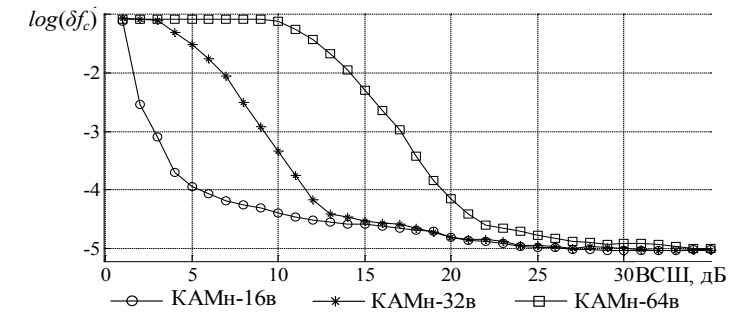


Рисунок 4 – Зависимости относительной ошибки определения несущей частоты КАМн сигналов от ОСШ

Для более простых фазовых созвездий, пространственное расстояние между точками которых больше, погрешность определения несущей частоты близка до 10^{-5} при ОСШ больше 24 дБ. Учитывая потенциальную возможность использования разновидностей КАМн модуляций, ограниченную границей Шеннона [1], полученная точность достаточная для осуществления дальнейшего анализа сигнала и его демодуляции.

На рис. 5 представлены графики зависимостей нормированного времени определения параметров сигнала от заданной относительной ошибки расчетов несущей частоты.

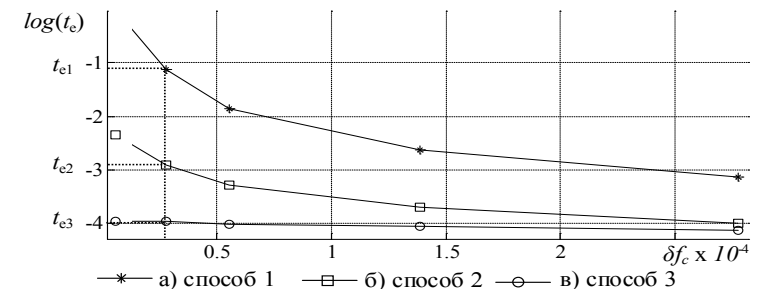


Рисунок 5 – Зависимость нормированного времени определения параметров сигнала от заданной относительной точности расчетов несущей частоты: а) полный перебор (способ 1); б) последовательный перебор (способ 2); в) последовательный перебор с использованием метода дихотомии (способ 3)

Проанализировав зависимости, изображенные на рис. 5 можно сделать вывод, что для обеспечения относительной точности определения несущей частоты сигнала порядка $3 \cdot 10^{-5}$ использование двух последовательных одномерных поисков позволяет уменьшить время расчетов в 45 раз, а при использовании одномерных поисков и метода дихотомии в 370 раз.

Таким образом, усовершенствованный подход к определению несущей частоты и погрешности тактовой синхронизации КАМн радиосигнала на основе анализа взаимной корреляционной функции символов фазового созвездия, позволяет реализовать его в реальном времени. При этом, как показали результаты компьютерного моделирования, время определения несущей частоты и погрешности тактовой синхронизации не превышает 30 символьных периодов при скорости передачи данных $f_{sym} = 9600$ Гц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
- 2 Сергиенко, А. Б. Цифровая связь / А. Б. Сергиенко. – СПб. : ГЭТИ «ЛЕТИ», 2012. – 164 с.
- 3 MIL-STD-188-110B. Interoperability and performance standards for data modems. – 2000. – 131 p.
- 4 STANAG 4538. Technical standards for an automatic radio control system for HF communication links. – 2000. – 297 p.
- 5 Рембовский, А. М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Рембовский А. М., Ашихмин А. В., Козьмин В. А. 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 640 с.
- 6 Doyle, L. The Essentials of Cognitive Radio / L. Doyle. – Cambridge University Press, 2009. – 240 p.
- 7 Нагорнюк, О. А. Алгоритм попереднього оцінювання символної частоти сигналів з цифровою лінійною модуляцією / О. А. Нагорнюк // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. – Житомир : ЖВІ НАУ. – 2011р. – Вип. 2. – С. 6-56.
- 8 Kozminchuk, B. W. Joint Blind Synchronization of M-PSK and M-QAM Signals / B. W. Kozminchuk, X. Huang. – Defence Research Establishment. – Ottawa, Canada, 1996. – 13 p.
- 9 Method and system for detecting and classifying the modulation. Christian Dubuc. United States Patent № 7428270.
- 10 Мицель, А. А. Методы оптимизации. Часть 1. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного обучения, 2002. – 192 с.
- 11 Mikhailov, G. A. Parametric estimates by the Monte Carlo method / G. A. Mikhailov. – Utrecht, Netherlands : VSP, 1999. – 376 p.

Житомирский военный институт
Государственного университета телекоммуникаций.
Материал поступил в редакцию 11.09.14.

A. A. Nagornyuk, A. A. Pisarchuk

Дөңгеленген формадағы фазалық жұлдызшалы сандық радиодабылдардың параметрлерін автоматты анықтау

Житомир мемлекеттік телекоммуникация
университетінің әскери институты.
Материал 11.09.14 баспаға түсті.

A. A. Nagornyuk, A. A. Pisarchyuk

Automated parameters determination of the digital radio signals with the rounded shapes of the phase constellations

Zhitomyr Military Institute of the
State University of Telecommunications.
Material received on 11.09.14.

Мақалада жиілікті есептеу автоматтыға дейінгі амалы және дөңгеленген формадағы фазалық жұлдызшалы болып келетін квадраттық ауытқу шегінің айналы радиодабылдардың ырақты синхрондық ауытқулар келтірілген. Амал дихотомия әдісін қолданумен және бір өлшемді екіге екі өлшемді ізденісті болумен дабылды жұлдызшаны корреляциялық функцияны өзара максимумда анықтауға негізделген. Әдістің нақты бағалау және оны есептеу қиындығының нәтижелері келтірілген.

This paper proposes an approach to the automated calculation of the carrier frequency and error of a clock synchronization of the radio signals with the quadrature amplitude manipulation with the rounded shape of the phase constellations. The approach is based on the determination of the maximum cross-correlation function of the signal constellation with the separation of two-dimensional search in two one-dimensional and using the method of dichotomy. The results are given of the estimation of the method's accuracy and its computational complexity.

УДК 621.313.1

А. Н. Новожилов*, А. М. Акаев*, Т. А. Новожилов**,
Е. М. Волгина*

ПРОСТАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ В ОБМОТКАХ СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ

В статье предложена математическая модель синхронного компенсатора, а также метод опытного определения параметров ее элементов, позволяющие с высокой точностью моделировать его работу в различных эксплуатационных режимах.

Синхронные компенсаторы (СК) используются в электроэнергетических системах для компенсации реактивной мощности и поддержания нормального уровня напряжения в районах сосредоточения потребительских нагрузок. Что повышает устойчивость работы энергосистемы и качество электроэнергии у потребителей. Это обусловлено тем, что в зависимости от режима работы СК способны не только потреблять реактивную мощность из сети, но и отдавать ее в сеть [1-3].

Конструктивно СК выполняются так же, как и синхронные двигатели (СД) с горизонтально расположенным явнополюсным ротором. То есть по своей сути СК являются СД, которые работают в режиме холостого хода. Подключение СК к сети в зависимости от мощности может осуществляться по-разному [1-3].

Моделировать токи в обмотках СК в стационарных режимах работы можно по-разному [4-6]. Однако для этого необходимы активные сопротивления, а также индуктивности и взаимные индуктивности обмоток, определение которых осуществляется с использованием геометрических размеров элементов статора и ротора. Достаточно часто эти размеры получить сложно, а порой просто невозможно. Кроме того, определение индуктивностей сопровождается громоздкими вычислениями. Этого можно избежать, если моделирование токов в обмотках осуществлять следующим образом.

На рисунке 1 изображена схема СК. С учетом этой схемы и [7,8] токи I_A , I_B , и I_C в обмотках фаз А, В и С статора в стационарном режиме, который задается током I_r в обмотке возбуждения, можно определить из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A - I_r X_{Ar} &= \dot{I}_A (R_A + jX_A) + \dot{I}_B X_{AB} + \dot{I}_C X_{AC}; \\ \dot{U}_B - I_r X_{Br} &= \dot{I}_A X_{BA} + \dot{I}_B (R_B + jX_B) + \dot{I}_C X_{BC}; \\ \dot{U}_C - I_r X_{Cr} &= \dot{I}_A X_{CA} + \dot{I}_B X_{CB} + \dot{I}_C (R_C + jX_C). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В этой системе уравнений собственные индуктивные сопротивления фаз статора

$$X_A = X_B = X_C = X_{m0} \quad (2)$$

где X_{m0} – среднее значение главного индуктивного сопротивления фазы.

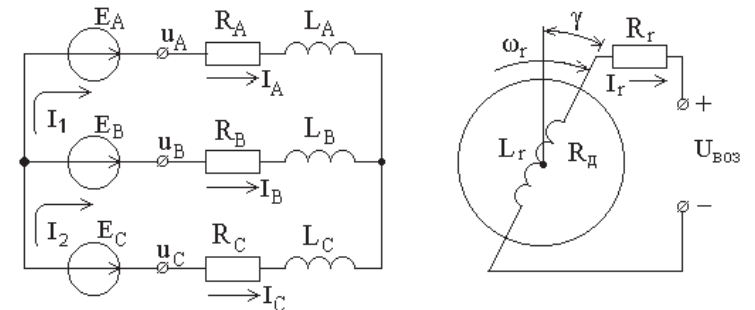


Рисунок 1 – Схема распределения токов в обмотках синхронного компенсатора

Взаимные индуктивные сопротивления фаз статора

$$X_{AB} = X_{BA} = X_{AC} = X_{CA} = X_{BC} = X_{CB} = -X_{m0}/2. \quad (3)$$

Взаимные индуктивные сопротивления фаз статора и обмотки ротора описывается системой уравнений

$$X_{Ar} = X_{m0} \sin(\omega t + \alpha_A); X_{Br} = X_{m0} \sin(\omega t + \alpha_B) \quad (4)$$

где X_{m0r} – среднее значение взаимного индуктивного сопротивления фазы статора и обмотки ротора; $\alpha_A = 0^\circ$; $\alpha_A = 120^\circ$; $\alpha_A = 140^\circ$.

Активные сопротивления фаз статора

$$R_A = R_B = R_C = R_1 \quad (5)$$

где R_1 – активное сопротивление фазы статора СК.

Напряжения питания фаз статора описывается системой уравнений

$$\begin{aligned} U_A &= U_m \sin(\omega t + \alpha_A); U_B = U_m \sin(\omega t + \alpha_B); \\ U_C &= U_m \sin(\omega t + \alpha_C), \end{aligned} \quad (6)$$

где U_m – амплитудное значение напряжения фазы в сети; ω – угловая частота тока в сети.

Для формирования системы уравнений математической модели СК необходимо знать параметры схемы СК. Эти данные можно получить по известным математическим выражениям [1-6] или экспериментальным путем. Расчетный путь сложен. Экспериментально эти сопротивления определяются следующим образом.

Активные сопротивления фазы статора R_1 с достаточной точностью можно получить путем замера ее непосредственно на СТ мостом постоянного тока.

Среднее значение главного индуктивного сопротивления фазы СК предлагается определять из первого уравнения системы (1), если в него подставить действительное значение напряжения фазы U_A в сети при токе возбуждения $R_r = 0$. В этом случае

$$\dot{U}_A = \dot{I}_A (R_A + 1,5 jX_A), \text{ а } X_{m0} = \sqrt{(U_1 / I_1)^2 - R_1^2} / 1,5. \quad (7)$$

где U_1 и I_1 – действительное значение напряжения и тока фазы СК.

Взаимное индуктивное сопротивление фазы статора и обмотки ротора также можно определить из первого уравнения системы (1) если в нем принять ток возбуждения I_r таким, при котором токи фаз СК будут равны нулю. В результате

$$U_A = I_r X_{Ar} = 0, \text{ а } X_{m0r} = U_1 / I_r. \quad (8)$$

Экспериментальные значения токов I_1 и I_r лабораторного СК при напряжении фазы $U_1 = 230\text{В}$, необходимые для определения X_{m0} и X_{m0r} приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные

$I_1, \text{А}$	1,86	1,2	0
$I_r, \text{А}$	0	1,0	2,9

Результаты моделирования токов фаз СК в зависимости от величины тока возбуждения в виде осциллограмм приведены на рисунке 2. Сопоставление результатов моделирования и эксперимента показали, что

такая математическая модель позволяет с точностью до 5-10% получать токи в обмотках статора и ротора в любом эксплуатационном режиме.

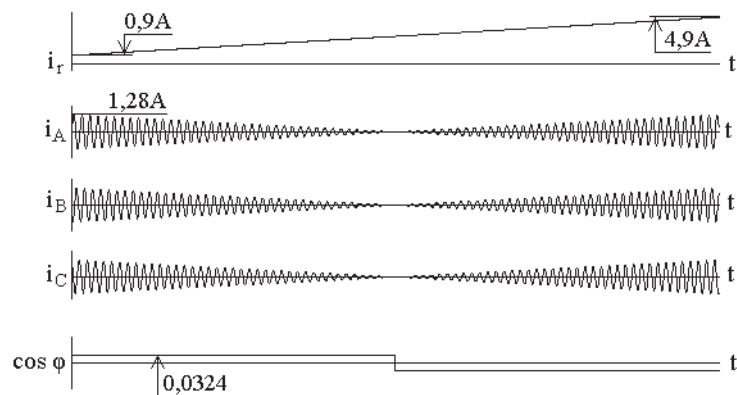


Рисунок 2 – Результаты моделирования токов в обмотках статора и ротора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Иванов-Смоленский, А. В.** Электрические машины. – М. : Энергия, 1980. – 909 с.
- 2 **Вольдек, А. И.** Электрические машины. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
- 3 **Сыромятников, И. А.** Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. – М. : Энергоатомиздат. – 1984. – 240 с.
- 4 **Домбровский, В. В., Хуторецкий, Г. М.** Основы проектирования машин переменного тока. – Л. : Энергия, 1974. – 504 с.
- 5 **Копылов, И. П., Горяинов, Ф. А., Клоков, Б. К.** и др. Проектирование электрических машин. – М. : Энергия, – 1980. – 495 с.
- 6 **Абрамов, А. И., Иванов-Смоленский, А. В.** Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. – М. : Высшая школа, 2001.
- 7 **Новожилов, А. Н.** Математическое моделирование эксплуатационных и аварийных режимов работы асинхронных двигателей // Электричество. – 2000. – №5. – С. 37-41.
- 8 **Новожилов, А. Н., Андреева, О. А., Воликова, М. П., Гаспарян, А. Г., Новожилов, Т. А.** Метод формирования системы уравнений математической модели электрических машин и трансформаторов в эксплуатационных режимах // Омский научный вестник №9 (46), декабрь 2006. – С. 108-112.

*Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар;
**Омский государственный
технический университет, г. Омск, Россия.
Материал поступил в редакцию 04.09.14.

A. N. Novozhilov, A. M. Akayev*, T. A. Novozhilov**, E. M. Volgina**

**Жұмыс режимінде синхронды қарымталағыштың орамаларындағы
токтарды анықтауға арналған қарапайым математикалық үлгі**

*С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.;
**Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей.
Материал 04.09.14 баспаға түсті.

A. N. Novozhilov, A. M. Akayev*, T. A. Novozhilov**, E. M. Volgina**

**A simple mathematical model for determine currents in electrical
windings of a synchronous capacitor in operation conditions**

*S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;
**Omsk Stste Technical university, Omck, Russia.
Material received on 04.09.14.

*Мақалада синхронды қарымталағыштың математикалық үлгісі,
сонымен қатар оның элементтерінің параметрлерін тәжірибелік
анықтау әдісі ұсынылған, ол оның жұмысын әр түрлі пайдалану
режимдерінде жоғары дәлдікпен үлгілеуге мүмкіндік береді.*

*The paper proposes a mathematical model of the synchronous
capacitor, as well as a method of experimental determination of the
parameters of its elements, this method simulates its work with high
accuracy in different operating conditions.*

УДК 621.184.8

Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько

МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗОЛЫ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ ПРИ РАБОТЕ АЭРОФИЛЬТРА

*Представлены результаты лабораторного эксперимента по
изучению фракционного состава золы.*

На работу золоуловителей существенное влияние оказывает крупность пыли. Фракционный состав золы, определяемый по диаметру частиц (дисперсный состав), зависит от исходного состояния (помола) топлива, типа установленного золоулавливающего оборудования и степени очистки газов в нем. В связи с широким классом применяемых мельничных устройств, фракционный состав золы на предприятиях Казахстана может меняться.

Для определения дисперсного состава летучей золы в уходящих газах пылеугольных котлов ТЭС применяются следующие методы: ситовый, воздушной сепарации, жидкостной седиментации, центробежной сепарации, и микроскопический анализ.

С помощью ситового анализа можно определить содержание частиц только больших 40 мкм [1]. Для анализа более тонкой пыли можно применить микроскопический метод, позволяющий измерять частицы размером 0,3÷100 мкм.

Дисперсионный анализ производился для золы Экибастузского угля энергетических предприятий Павлодарского региона. Задачей исследования являлось определение фракционного состава золы перед инерционным золоуловителем и после него (фракции, улавливаемые аэрофильтром) [2, 3]. В начале экспериментального исследования был произведен ситовый анализ пробы золы до пропускания её через золоуловитель. Использовались сита размером ячеек 280, 250, 200, 160 и 140 мкм. По результатам анализа основная доля приходится на частицы размером менее 140 мкм и 160 мкм [4]. Частицы менее 140 мкм подвергались микроскопическому анализу. Затем зола улавливалась лабораторной моделью аэрофильтра. После пропускания порции золы через аэрофильтр снова производим ситовый и микроскопический анализ уловленной золы.

При микроскопическом анализе золы использовался цифровой металлографический микроскоп Альтами МЕТ 3. Изучаемая проба золы помещалась на железную линейку. Для определения размера частицы за единицу масштаба принималось расстояние между миллиметровыми делениями на линейке (рисунок 1).

Размеры частиц измерялись при наблюдении отдельных полей зрения. Отдельные поля зрения выбирают на пробе исследуемого порошка, перемещая его на величину, большую диагонали прямоугольника или диаметра круга, ограничивающего поле зрения. Частицу считают принадлежащей к рассматриваемому полю, если она находится на одной из половинок границ поля. В случае круга учитывают все частицы, находящиеся внутри его, а также все частицы, находящиеся на одной полуокружности и на одном конце проведенного диаметра (рисунок 2).

После определения размеров частиц были сгруппированы данные и произведены статистические расчеты, результаты которых представлены в таблице 1 и 2.

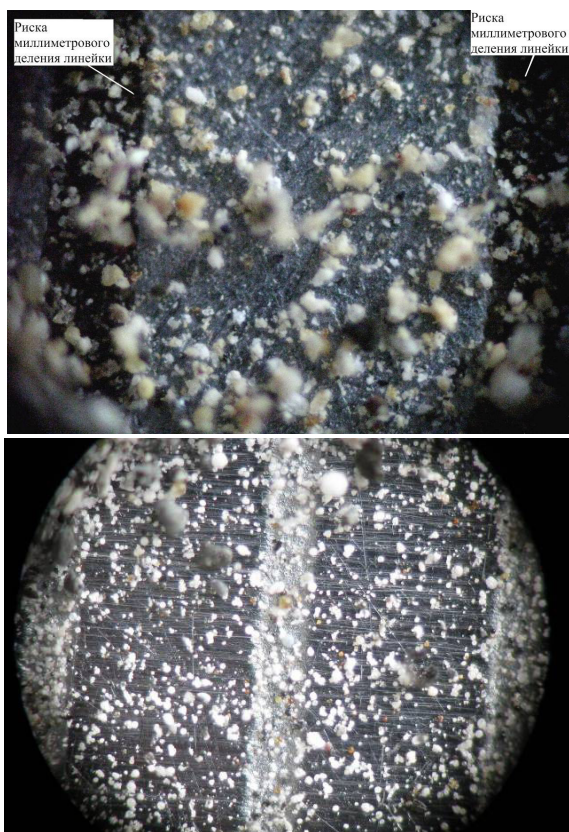


Рисунок 1 – Данные микроскопического анализа на одном поле зрения

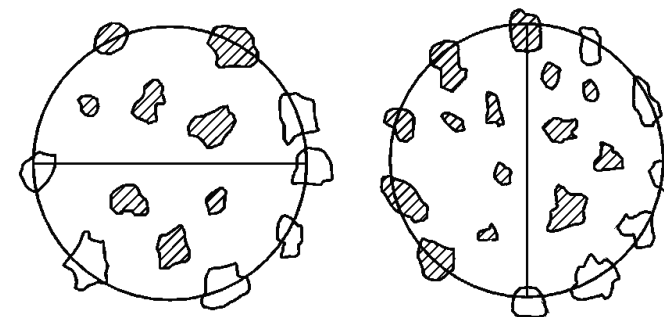


Рисунок 2 – К измерению размеров частиц в отдельных полях зрения

Таблица 1 – Данные микроскопического анализа до аэрофильтра

Диаметр частиц δ , мкм	Число частиц								Суммарное число частиц N
	I поле	II поле	III поле	IV поле	V поле	VI поле	VII поле	VIII поле	
2	25	10	15	22	20	–	–	–	92
5	25	23	17	–	–	17	9	15	106
10	76	83	11	65	47	67	27	12	388
15	53	45	35	75	70	73	48	18	417
20	55	58	–	67	97	10	54	18	359
25	6	–	48	–	–	40	–	–	94
30	24	28	20	55	38	4	20	20	209
35	–	16	0	40	25	31	0	0	112
40	17	0	24	12	4	15	15	0	87
45	3	8	4	0	0	0	2	0	17
50	5	5	12	22	14	15	1	10	84
60	2	3	0	1	6	13	3	–	28
70	4	7	2	4	3	5	0	2	27
80	2	3	10	2	1	5	0	8	31
90	0	0	0	0	3	2	0	10	15
100	0	9	2	3	0	2	0	3	19
115	0	6	2	0	0	0	0	9	17
130	2	7	1	3	2	3	0	18	36
									SN=2138

Таблица 2 – Данные для построения дифференциальной кривой распределения числа частиц по размерам до аэрофильтра

δ , мкм	2	10	30	50	70	90	110	130
$\Delta\delta$, мкм	2	8	20	20	20	20	20	20
ΔD , %	4,3	22,9	50,2	13,9	2,6	2,1	1,7	1,7
$\Delta D/\Delta\delta$	2,15	2,86	2,51	0,7	0,13	0,105	0,08	0,09

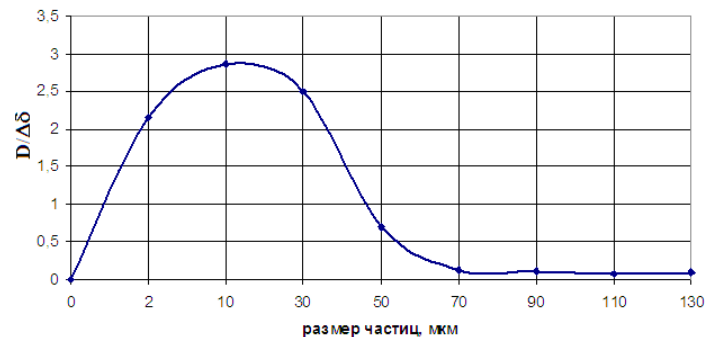


Рисунок 3 – Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам при микроскопическом анализе до аэрофильтра

Как видно из дифференциальной кривой распределения частиц по размерам, максимум ее приходится на 10–15 мкм.

После прохождения золы через золоуловитель, согласно ситового анализа [4], максимальное количество в ней составляют частицы размером менее 140 мкм и 160 мкм, как и до аэрофильтра. Результаты микроскопического анализа этой же части золы приведены в таблицах 3 и 4.



Рисунок 4 – Данные микроскопического анализа одного поля зрения после золоуловителя

Таблица 3 – Экспериментальные данные микроскопического анализа после аэрофильтра

Диаметр частиц δ , мкм	Число частиц							Число частиц во всех полях N
	I поле	II поле	III поле	IV поле	V поле	VI поле	VII поле	
2	5	5	7	5	5	4	0	31
5	7	5	8	7	20	7	0	54
10	20	25	30	22	10	17	6	130
15	8	10	12	5	37	18	12	102
20	43	23	45	33	0	0	11	155
25	0	0	0	0	17	17	11	45
30	32	30	24	0	6	15	0	107
35	–	–	–	22	–	–	16	38
40	–	–	–	–	7	27	–	34
45	8	7	6	10	–	–	11	42
50	7	5	7	15	5	12	–	51
60	–	1	–	6	10	9	8	34
70	4	12	2	0	7	1	19	45
80	–	–	–	4	11	7	–	22
90	8	8	3	4	2	1	16	42
100	16	9	5	1	15	5	5	56
110	–	–	–	6	1	1	13	21
120	3	7	1	1	3	2	1	18
130	9	8	7	12	2	–	10	48
								SN = 1075

Таблица 4 – Данные для построения дифференциальной кривой распределения числа частиц по размерам после аэрофильтра

δ , мкм	2	10	20	30	40	50	70	90	110	130
$\Delta\delta$, мкм	2	8	10	10	10	10	20	20	22	18
ΔD , %	2,8	16,6	23,2	13,6	6,4	8,4	7,1	5,8	7	5,9
$\Delta D/\Delta\delta$	1,4	2,1	2,32	1,36	0,64	0,84	0,36	0,29	0,32	0,33

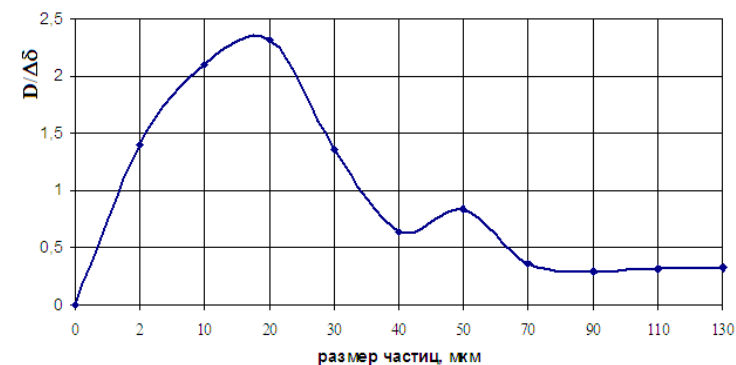


Рисунок 5 – Дифференциальная кривая распределения частиц по размерам при микроскопическом анализе после аэрофильтра

Из анализа дифференциальной кривой следует, что максимальное количество частиц, уловленных аэрофильтром, составляют фракции 10–20 и 50 мкм.

Выводы: 1. Из известных способов определения фракционного состава золовых частиц в дымовых газах ТЭС для нашего исследования применены ситовый и микроскопический анализ;

2. в связи с тем, что размер частиц представлен различными фракциями, микроскопический анализ был выполнен с различным масштабом увеличения;

3. по результатам проведенных исследований имеем следующий фракционный состав золы Экибастузского угля:

– до улавливания в аэрофильтре основную массу занимают частицы размером 10-15 и 160 мкм.

– максимальное количество частиц, уловленных аэрофильтром, составляют фракции менее 140 мкм (из них 15-20 и 50 мкм) и 160 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 РД 153-34.1-02.319-2001. Методические указания по определению коэффициента оседания f при оценке загрязнения атмосферы твердыми выбросами ТЭС с учетом дисперсности летучей золы. – М. : РАО «ЕЭС России», 2002. – 9 с.

2 **Оришевская, Е. В., Приходько, Е. В.** Анализ разработок современных инерционных пылеуловителей. «Вестник ПГУ» № 3-4. – Павлодар, 2012. – С. 171-178.

3 Патент № 12071. Поперечно-струйный аэрофильтр. / Агапов Ю. Е., Белоглазов В. П., Оришевская Е. В; опубл 15.10.2002, Бюл № 10. – 5 с : ил.

4 **Оришевская, Е. В., Приходько, Е. В.** Ситовый анализ золы Экибастузского угля. «Вестник ПГУ» № 1. Павлодар, 2014. – с. 116-122.

5 **Королев, Д. В. Наумов, В. Н., Суворов, К. А.** Определение дисперсного состава порошков микроскопическим методом: Методические указания к лабораторной работе. – СПб. : ГОУ ВПО СПб ГТИ (ТУ), 2005. – 41 с.

6 **Коузов, П. А.** Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.

Павлодарский государственный университет
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 04.09.14.

Е. В. Оришевская, Е. В. Приходько

Аэросүзгі жұмысы кезіндегі Екібастұз көмір күлдігінің микроскоптық анализы

С. Торайгыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.
Материал 04.09.14 баспаға түсті.

E. V. Orishevskaya, E. V. Prichodko

The microscopic analysis of the Ekibastuz coal ashes at the aerofilter work

S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.
Material received on 04.09.14.

Күлдің фракционды құрамын зерттеу бойынша зертханалық сынақтардың нәтижелері көрсетілген

Results of laboratory experiment on studying of the fractional structure of ashes are presented

УДК 621.3

Д. В. Птицын*, Е. В. Птицына, А. П. Кислов***,
Г. Ф. Бойко*****

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ НА РАБОТУ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В докладе рассмотрены вопросы влияния регулирования частоты питающего напряжения на нагрев двигателя при работе на искусственных характеристиках, что следует принимать во внимание при выборе электродвигателя для частотно-регулируемых электроприводов.

Основная цель энергоаудита, проводимых на предприятиях России и Казахстана – повышение эффективности работы электрооборудования. Электропривод центробежных насосов укомплектован мощными асинхронными электродвигателями, которые являются энергоемкими потребителями электроэнергии. Поэтому оптимизация электропотребления автоматизированного электропривода центробежных насосов является актуальной. Мощность асинхронных двигателей (АД), например, на электростанциях, может составлять более 5 Мвт. Для реализации плавного

пуска и регулирования частоты предлагаются разные варианты регулируемого электропривода. Различают способы воздействия на АД со стороны статора (реостатное регулирование, изменением числа пар полюсов, изменением частоты питающего напряжения) и со стороны ротора (реостатное регулирование, введением в цепь ротора добавочной эдс). При мощности АД более 5 МВт целесообразен вариант установки гидромuft. Если мощность электродвигателя составляет менее 3 Мвт, то рассматриваются варианты регулируемого электропривода центробежных насосов с использованием преобразователей частоты, вентильных двигателей, применением асинхронно-вентильного каскада. В [1,3] рассмотрен способ повышения эффективности работы асинхронных двигателей при реализации регулятора напряжения на основе управляемых и неуправляемых выпрямителей и асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике.

Достоинством частотного метода регулирования является работа АД на искусственных характеристиках при плавном регулировании частоты вращения АД выше и ниже естественной, при сохранении жесткости регулировочных характеристик. При этом можно обеспечить работу электропривода с постоянным вращающим моментом $M=const$, с постоянной мощностью на валу $P=const$, с моментом, пропорциональным квадрату частоты $M \sim f^2$ [2].

Обычно технико-экономическое обоснование о целесообразности использования систем частотного регулирования асинхронных двигателей изменением частоты в питающей сети в программу мероприятий по энергосбережению представляет служба главного технолога. В условиях ограничения инвестиций на модернизацию, вопросы замены старых асинхронных электродвигателей на новые двигатели не рассматриваются. Представленная смета расходов предусматривает только установку частотных преобразователей. Зачастую не учитываются размеры помещений под установку преобразователей частоты, характеристики механизмов, а также номинальные параметры и рабочие характеристики асинхронного двигателя (ухудшение теплоотдачи, насыщение стали, потери электроэнергии при работе на регулировочных характеристиках), что оправдано только для механизмов, продолжительность работы которых на искусственных характеристиках мала. Указанные недостатки расчетов в технико-экономическом обосновании выявляются при мониторинге мероприятий, представленных в программе по энергосбережению.

Не только на производстве, но и в практике лабораторных исследований во многих вузах используют устаревшее оборудование, хотя в развитых странах произошли революционные изменения в силовой электронике, и стало возможным использование более эффективных и долговечных электроприводов на основе АД с ЧП. В связи с этим необходимо

переоснащение и лабораторной базы учебных учреждений по электроприводу при изучении электротехнических дисциплин, а также необходима переподготовка специалистов.

На кафедре «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета разработаны лабораторные стенды и методические пособия к ним с описанием теории и порядка выполнения лабораторных работ, правилами работы с современными цифровыми измерительными приборами с компьютерной регистрацией с использованием ЧП (скалярное управление) фирмы MITSUBISHI типа FR-S520SE-1,5K-EC и ЧП (векторное управление) фирмы SIEMENS MICROMASTER 440 типа 6SE6440-2UC21-5BA1 [2]. Общий вид лабораторного стенда «Исследование электропривода переменного тока с частотным (скалярным) управлением» показан на рисунке 1. На рисунках 2 и 3 представлены панель управления и электрическая схема лабораторного стенда.

В лабораторных условиях были проведены четыре серии экспериментов для исследования нагрева асинхронного двигателя с частотным регулированием оборотов и без регулирования частоты в режиме холостого хода и при заданном значении нагрузки (для представленного лабораторного стенда нагрузку изменяли, регулируя ток в обмотке возбуждения генератора. В режиме холостого хода значение тока возбуждения составило 0 А, а в режиме нагрузки – 1, 2 А). В опытах использовали тепловизор типа testo t885-2 (серийный номер №2358782). На рисунке 4 в качестве примера представлено окно температурного поля АД с ПЧ. Результаты экспериментов даны на рисунках 5-8.

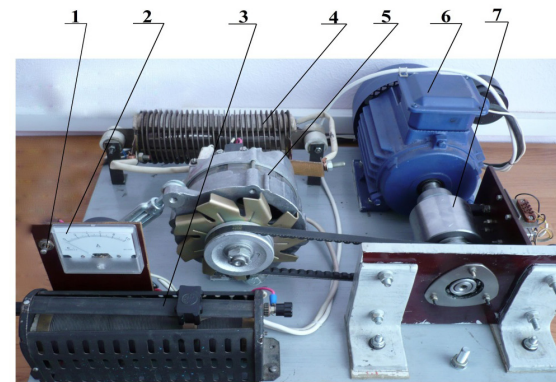


Рисунок 1 – Трехфазный АД, нагруженный на генератор:
1 – тумблер положения «вкл»/»выкл»; 2 – амперметр для измерения тока возбуждения; 3 – реостат регулирования тока возбуждения;
4 – нагрузочное сопротивление; 5 – генератор постоянного тока;
6 – асинхронный двигатель; 7 – датчик крутящего момента

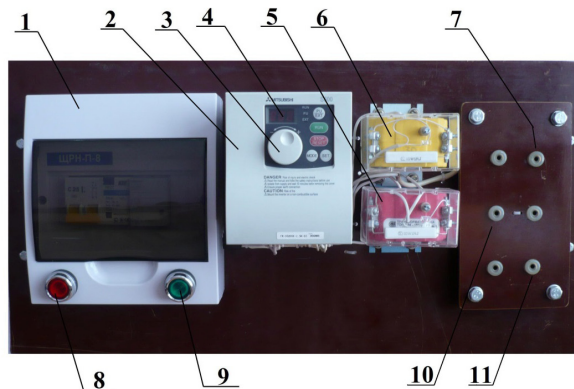


Рисунок 2 – Панель частотного преобразователя: 1 – магнитный пускатель; 2 – корпус ЧП; 3 – потенциометр регулировки частоты выходного напряжения ЧП; 4 – дисплей ЧП; 5, 6 – трансформаторы тока; 7, 10, 11 – выходные клеммы для измерения токов напряжения; 8 – кнопка отключения подачи напряжения на ЧП; 9 – кнопка включения подачи напряжения на ЧП

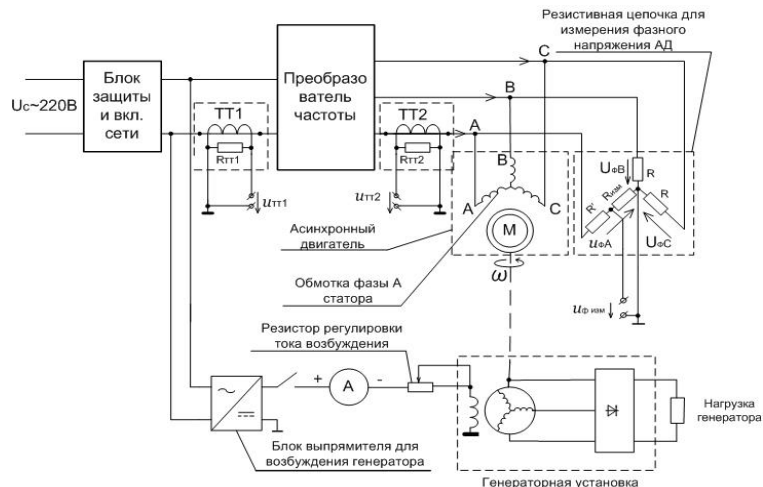
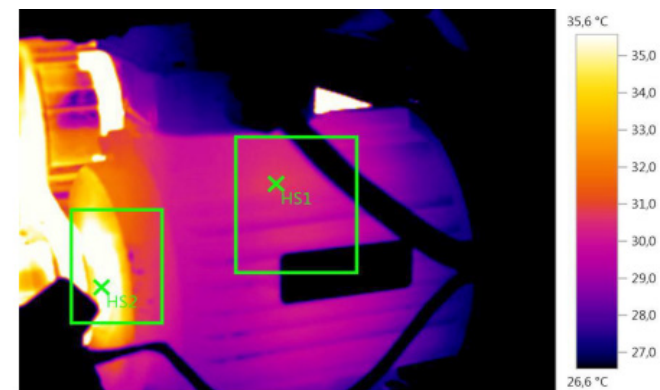


Рисунок 3 – Упрощенная электрическая схема лабораторного стенда



Параметры изображения:
 Коэффициент излучения: 0,99
 Отраж. темп. [°C]: 21,0



Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Самая теплая точка 1	30,8	0,99	21,0	-
Самая теплая точка 2	55,1	0,99	21,0	-

Рисунок – 4 Измерение температурного поля АД с применением тепловизора

В первой серии экспериментов измеряли тепловые поля электродвигателя в установившемся режиме при работе асинхронного двигателя на различных частотах. Исследованиями установлено, что работа АД при частотном регулировании оборотов и при работе на повышенных частотах вызывает дополнительное увеличение температуры нагрева магнитопровода, что обусловлено увеличением потерь в стали на частотах свыше 50 Гц.

Во второй серии опытов выполнено экспериментальное исследование температурного поля АД. Тепловизором фиксировалось изменение картины тепловых полей через равные промежутки времени при работе двигателя от сети и от ПЧ на частоте 50 Гц в режиме холостого хода и в режиме с заданным значением нагрузки (ток возбуждения 1, 2 А).

В третьей серии опытов для оценки несинусоидальности формы кривой тока статора и фазного напряжения обмотки статора, создаваемого автономным инвертором напряжения, при проведении предыдущих опытов к выводам ПЧ был подключен USB-осциллограф (совместимый с ПК) в режиме измерения «Спектроанализатор». В ходе опыта получены осциллограммы формы напряжения и спектр гармоник для ПЧ, при работе двигателя в

режиме холостого хода и в режиме с заданной нагрузкой (ток возбуждения генератора 1,2 А).

Для оценки качества электроэнергии в сети использовали спектроанализатор ИВК «Омск-М». Измерения ПКЭ проводились в течение 40 минут с интервалом между измерениями – 1 секунда. Двигатель работал в режиме холостого хода (четвертая серия опытов).

Из полученного протокола испытаний следует, почти все ПКЭ соответствуют нормам ГОСТ, кроме коэффициента 3-й гармонической составляющей. Так же стоит отметить, что в сети имела место несимметрия напряжения.

Таким образом, внедрение устройств частотного регулирования оборотов асинхронных двигателей является с одной стороны эффективным решением для промышленных предприятий и электростанций и с другой стороны обуславливает необходимость переоснащения лабораторной базы технических вузов.

Наличие современной лабораторной базы в высших учебных заведениях России и Казахстана позволяет выполнять исследования в области количественной оценки потерь в регулируемом двигателе, и влияния помех от автономного инвертора ПЧ на двигатель (можно изменять нагрузку АД, реализовать репликацию опытов и др.), что трудно реализуемо на двигателях промышленных объектов.

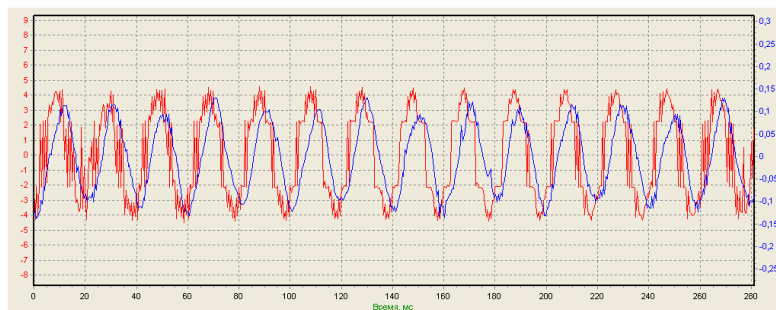


Рисунок – 5 Форма напряжения U_{TT2} и U_f в обмотке статора АД с ПЧ в режиме х.х.

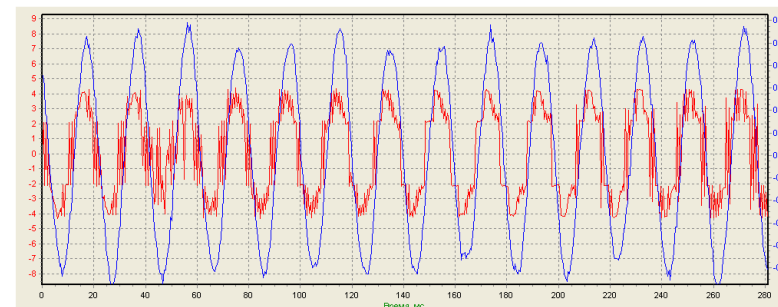


Рисунок – 6 Форма напряжения U_{TT2} и U_f в обмотке статора АД с ПЧ под нагрузкой (ток возбуждения 1, 2 А)

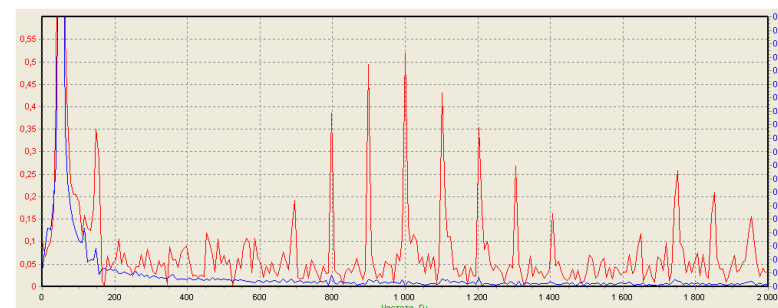


Рисунок – 7 Спектр напряжения U_{TT2} и U_f в обмотке статора АД с ПЧ под нагрузкой (ток возбуждения 1, 2 А)



Рисунок 8 – Спектр гармоник напряжений на выводах АД в режиме х.х.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пат. 12132 Н 02 К 23/00. Республика Казахстан. Способ повышения эффективности электрических вращающихся машин. Птицына Е.В. [и др.] – Бюл. №10. – 7 с.

2 **Попов, А. П.** Исследование режимов работы асинхронного электропривода с векторным управлением: учебное пособие / А.П. Попов, А.О. Чугулев, Е.В. Птицына, А.И. Батрак. – Омск : Издательство ОмГТУ, 2012. – 56 с.

3 **Бойко, Ф. К.** Характеристики электропотребления. / Ф.К. Бойко, Е.В. Птицына. – Павлодар : ТОО НПФ «ЭКО», 2005. – 158 с.

*ОАО «Транссиб нефть»;

**Омский государственный технический университет, Омск;

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

Материал поступил в редакцию 08.09.14.

*Д. В. Птицын**, *Е. В. Птицына***, *А. П. Кислов****, *Г. Ф. Бойко****

Асинхронды қозғалтқыш жұмысына жиіліктің ықпалы

*«Транссиб нефть» БАҚ;

**Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ.;

***С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.

Материал 08.09.14 баспаға түсті.

*D. V. Ptitsyn**, *E. V. Ptitsyna***, *A. P. Kislov****, *G. F. Boiko****

Influence of frequency on the work of the induction motor

*JSC «Transsibneft»;

**Omsk State Technical University, Omsk;

***S. Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar.

Material received on 08.09.14.

Мақалада жасанды сипаттамадағы жұмыс кезіндегі қозғалтқыштың қызуына қуаттың жиілігін реттеудің әсерінің сұрақтары қарастырылған. Мұнда электр жетегінің жиілік – реттеуіші үшін электр қозғалтқышын таңдау кезінде есте сақтау қажет.

The report addresses the issues of influence of the feeding voltage frequency control on the reating of the motor when operating on artificial features that should be taken into account when selecting a motor for variable frequency drives.

УДК 621.365

В. Ф. Хацевский*, К. В. Хацевский**

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИНДУКЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАГРЕВА И ОБРАБОТКИ ЖИДКОСТЕЙ

В настоящей работе рассмотрена новая конструкция высокоэффективной индукционной системы для нагрева и обработки жидкостей и газов в электромагнитных полях.

Одним из важных положений экономического и социального развития является интенсификация народного хозяйства на базе внедрения высокоэффективных технологических процессов и оборудования. Использование электронагрева в различных областях промышленности способствует повышению производительности труда, улучшению качественных показателей технологических процессов и решению проблем ресурсосбережения.

До настоящего времени различные индукционные нагреватели жидкостей создавались и, следовательно, оптимизировались по конструктивному исполнению и рабочим режимам для решения конкретной задачи – повышение теплосодержания для последующего использования нагретых жидкостей в технике. В промышленности работают такого типа установки отечественного и зарубежного исполнения. Исследование и разработка методов расчета индукционных систем нагрева жидкостей позволили создать электротехнологические установки принципиально нового типа, в которых с использованием электромагнитных полей за счет интенсификации электродиффузии и термодиффузии в десятки и сотни раз увеличиваются скорости протекания различных химических реакций. Это позволяет реализовать новые электротехнологические процессы: переработка жидких отходов, опреснение морской воды, снижение жесткости воды и т.д.

Рассматриваемая электротехнологическая система состоит из первичной обмотки (индуктора), внутри которой находится магнитопровод, а с наружной стороны индуктор окружен традиционными электромагнитными экранами, которые обеспечивают преобразование электрической энергии в тепловую. Между экранами организован проток обрабатываемой жидкости. На рисунке 1 приведена схема индукционной установки для нагрева и электрофизической обработки жидкостей. Имея формальное внешнее сходство с трансформатором, рассматриваемая индукционная установка существенно отличается протекающими электромагнитными процессами

и особенностями согласования параметров индуктора и вторичной цепи. В трансформаторе первичные и вторичные обмотки располагаются близко для того, чтобы обеспечить хорошую индуктивную связь между ними. В новых устройствах индуктор специально удален от вторичной обмотки на оптимальное расстояние.

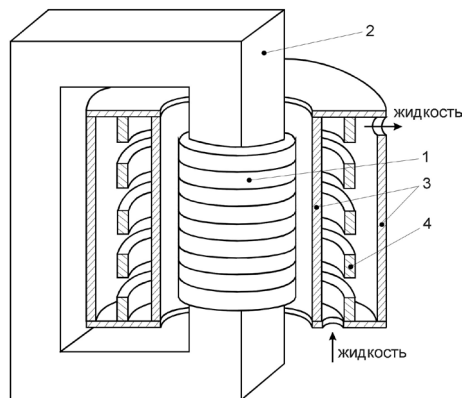


Рисунок 1 – Конструктивная схема новой индукционной системы для нагрева и обработки жидкостей: 1 – индуктор, 2 – магнитопровод, 3,4 – короткозамкнутые цилиндры и кольца

Вторичная обмотка выполняется в виде коаксиальных цилиндров. Вследствие этого большие поля рассеяния оказывают влияние на электромагнитные параметры системы. Здесь же необходимо отметить отличие рассматриваемой схемы от систем нагрева индукционных канальных печей. Имея много общего с канальной электропечью, новая индукционная установка имеет вторичную цепь, создаваемую несколькими экранами – цилиндрами. При этом средний цилиндр может выполняться из короткозамкнутых колец произвольной формы для создания электромагнитного поля с оптимальными параметрами для электрофизической обработки жидкостей. Электрически кольца могут быть изолированными, соединенными последовательно (винтовое выполнение расщепленного цилиндра) или с противоположным направлением токов в соседних кольцах. Использование эффекта близости токонесущих колец позволяет вводить дополнительный управляющий фактор за счет оптимизации отклонений от осесимметричности полей. Относительно магнитного потока кольца расщепленного цилиндра оказываются расположенными последовательно, а относительно индуктора – параллельно. Различные варианты конструктивного исполнения цилиндров позволяют оптимизировать процессы взаимодействия

движущейся жидкости с электромагнитным полем, в том числе за счет действия электродинамических сил с одновременным нагревом жидкости за счет кондуктивно-конвекционного теплообмена с нагреваемыми кольцами и цилиндрами.

Короткозамкнутые цилиндры, связанные общим магнитным потоком, формализуются как параллельно включенные сопротивления, образующие слоистую систему нагрева. При создании эффективных конструкций для нагрева и обработки жидкостей в электромагнитных полях необходимо принимать толщину цилиндров (колец) меньше глубины проникновения тока в материал цилиндра. В этом случае в процессе преобразования электрической энергии в тепловую и механическую будут участвовать все цилиндры (кольца), установленные вокруг индуктора. В процессе проведения излагаемых исследований было показано, что даже при установке пяти коаксиальных цилиндров тепловыделение в наружном цилиндре наблюдается и составляет более 10% от вводимой мощности. Кроме этого, выявлено новое свойство таких индукционных систем: максимальное выделение энергии наблюдается в цилиндре, для которого отношение толщины цилиндра к глубине проникновения D/δ максимально. Из этого следует, что в индукционной системе, состоящей, например, из трех цилиндров одинаковой толщины, но изготовленных из разных немагнитных материалов (сталь-медь-сталь), максимальная мощность будет выделяться (до 80%) в медном цилиндре, т.к. $D\sigma_{Cu} < D\sigma_{Fe}$. Это свойство рассматриваемой электромагнитной системы с одновременным расщеплением среднего цилиндра на отдельные короткозамкнутые кольца произвольной конфигурации позволяют создать в рабочем пространстве градиентное интенсивное магнитное поле для электрофизической и электродинамической обработки движущейся жидкости.

При строгом подходе процессы взаимодействия движущейся жидкости с электромагнитным полем с учетом развитой термодиффузии будут иметь трехмерный характер с многопараметрическими зависимостями.

Конструкция рассматриваемого устройства имеет особенности, которые позволяют принять ряд допущений, дающих возможность аналитически решить задачу расчета поля в рабочем объеме с получением интегральных параметров. Примем, что толщина концентрических слоев a_i значительно меньше, чем высота h_i этих слоев, а расстояния между кольцами vk также значительно меньше высоты колец ak . При таких соотношениях можно считать, что в каждом слое (проводящем ($\epsilon = 0$) и полупроводниковом ($g^1 0, e^1 0$)) существует одномерное синусоидальное электромагнитное поле, возбуждаемое магнитным потоком сердечника магнитопровода. Локальные отличия от одномерного характера поля будут влиять на краевые реактивные сопротивления цилиндров и на распределение плотности тока по сечению

колец. Эти особенности будут учитываться в последующем путем введения дополнительных уточнений в расчет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Инкин, А. И.** Расчет индукционных систем нагрева трансформаторного типа / А. И. Инкин, В. С. Чередниченко, К. В. Хацевский, С. Ю. Ивликов. – Электротехника. – 2000. – № 11. – С. 34–37.

2 **Хацевский, К. В.** Электронагрев жидкостей и газов в индукционных установках с коаксиальными цилиндрами : монография – Павлодар : ЭКО, 2002. – 120 с.

3 **Хацевский, К. В.** Энергоэффективные технологии электронагрева жидкостей и газов : монография / К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2013. – 176 с.

4 **Хацевский, К. В.** Моделирование автоматизированных электротехнологических установок нагрева жидкостей и газов : монография / К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко, В. Ф. Хацевский. – Павлодар : Кереку, 2013. – 165 с.

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

** Омский государственный технический университет, г. Омск.
Материал поступил в редакцию 28.08.14.

*В. Ф. Хацевский**, *К. В. Хацевский***

Сұйықтықтың өңдеу мен қызуы үшін энергия үнемдеуші индукциялық қондырғылар

*С. Торайгыров атындағы

Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.,

**Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ.
Материал 28.08.14 баспаға түсті.

*V. Khatsevskiy**, *K. Khatsevskiy***

Energy saving induction units for heating and processing liquids

*S.Toraighyrov Pavlodar State University, Pavlodar;

**Omsk State Technical University.

Material received on 28.08.14.

Қазіргі жұмыста электромагнит өрісіндегі сұйықтарды және газдарды жылыту мен өңдеу үшін тиімділігі жоғары индукциялық жүйелердің жаңа конструкциялары қарастырылды.

Modern construction of high-performance induction systems for heating and processing liquids and gases in electromagnetic fields is considered in this paper.

УДК 621.391.82

А. К. Шайхин, А. Е. Анарбаев, А. В. Антонцев

ВОЗДЕЙСТВИЕ СВЕРХКОРОТКИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ЛОКАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ

В данной работе рассмотрена проблема воздействия сверхкоротких электромагнитных импульсов на локальные сети связи. Показаны характеристики современных генераторов электромагнитных импульсов. Доказана актуальность проблемы создания эффективных средств противодействия сверхкоротким электромагнитным импульсам.

Ключевые слова: сверхкороткий импульс, локальная сеть, электромагнитное излучение, радиоэлектронные средства, взрывомагнитный генератор.

Активное использование всевозможных средств связи, в том числе новейших решений IT-технологий, предъявляет повышенные требования к качеству функционирования телекоммуникационных сетей и комплексов [1].

В связи с тем, что большинство современных информационных систем базируется на применении телекоммуникационной инфраструктуры локальных вычислительных сетей (ЛВС), то одним из актуальных вопросов является обеспечение устойчивого функционирования ЛВС в условиях воздействия различных деструктивных факторов [2,3].

Особо ставится задача по защите ЛВС от воздействия сверхкороткоимпульсного электромагнитного излучения (СКИ ЭМИ), так как с каждым годом появляются более мощные стационарные и мобильные излучатели, формирующие периодические и однократные сверхкороткие электромагнитные импульсы и обладающие принципиально новыми качествами, отсутствующими у традиционных источников ЭМИ: соразмерностью длительности воздействующих импульсов с длительностью информационных сигналов.

Тенденция развития современных ЛВС идет по пути насыщения элементами микропроцессорных устройств и уменьшению уровней и длительности сигналов для передачи информации. Это приводит к тому, что уровень наведенных помех от СКИ ЭМИ становится сопоставим с уровнем информационных сигналов и, как следствие, возрастает вероятность разрушения обрабатываемой информации, циркулирующей в ЛВС.

В то же время существующие системы защиты каналов связи ЛВС в условиях воздействия СКИ ЭМИ являются, как правило, малоэффективными, а в ряде случаев неприемлемыми, как с технической, так и с экономической стороны, что существенно повышает важность решения задачи по поиску новых методов защиты.

В настоящее время для защиты ЛВС от деструктивного электромагнитного воздействия применяются следующие методы:

1) Общее и местное экранирование телекоммуникационных узлов и информационных линий ЛВС.

Однако, результаты анализа функционального назначения ЛВС, и технико-экономической экспертизы показывают, что применение метода экранирования для защиты ЛВС от деструктивного воздействия СКИ ЭМИ в ряде случаев является недостаточно эффективным, или экономически нецелесообразным по следующим причинам:

– воздействие источников СКИ ЭМИ характеризуется широкой полосой частот и большой амплитудой излучаемых электромагнитных полей, высокой проникающей способностью в неоднородности экранов. Поэтому для обеспечения эффективного экранирования от такого вида воздействия должны выполняться требования к целостности построения экранных конструкций, а также должны исключаться возможности наличия щелей и неоднородностей в разъемах и соединениях. Реализация данных условий, как правило, связано со значительными материальными затратами;

– ЛВС является территориально-распределенной информационной системой, поэтому в большинстве случаев технологически невозможно выполнение условия целостности построения экранирующих конструкции, что резко понижает эффективность применения экранирования как метода защиты.

2) Применение технических средств для минимизации или предотвращения влияния электромагнитного излучения на ЛВС.

Анализ применяемых помехоподавляющих фильтров и газоразрядных элементов показал, что на данный момент их применение не позволяет эффективно бороться с деструктивным воздействием СКИ ЭМИ. Основным параметром современных газовых разрядников, такой как его время срабатывания, на порядок ниже длительности воздействия сверхкороткого электромагнитного импульса. Частотные характеристики современных

помехоподавляющих фильтров и трансформаторов не позволяют эффективно отделять наведенные помехи СКИ ЭМИ от полезного сигнала в информационных линиях. Поэтому применение стандартных технических средств защиты ЛВС от электромагнитного излучения на сегодняшний день не позволяет исключить возможность разрушения информационных сигналов при воздействии СКИ ЭМИ.

3) Применение помехозащищенного кодирования для передачи информации.

Применение помехозащищенного кодирования позволяет эффективно бороться только с небольшим количеством ошибок, возникающих в информационных линиях связи в результате воздействия случайной, как правило, единичной помехи. Основным недостатком данного метода является необходимость внесения в передаваемую информацию избыточности, которая зависит от количества возникающих искажений, а в некоторых случаях и повторная передача информации, в т.ч. и искаженной. Все это в свою очередь снижает пропускную способность информационных каналов в частности и быстродействие ЛВС в целом. Поскольку современные источники СКИ ЭМИ позволяют генерировать импульсы с частотой до нескольких МГц, что соответственно создает в информационном канале помехи с большой периодичностью. Поэтому для эффективного восстановления искаженной информации и доставки исправленной, необходимо вводить значительную избыточность или проводить повторную передачу информационных сообщений. Это приводит к резкому снижению эффективности работы ЛВС, а в некоторых случаях к полной остановке вычислительного процесса и обмена информацией. Поэтому применение данного метода защиты ЛВС в условиях воздействия СКИ ЭМИ является также малоэффективным.

По мнению аналитиков, наряду с традиционными средствами радиоэлектронного воздействия использование электромагнитного импульса (ЭМИ) для нанесения электронных ударов с целью вывода из строя радиоэлектронных средств (РЭС) на расстояниях от сотен метров до десятков километров может стать одной из основных форм деструктивных действий в ближайшем будущем. Разработанные и испытанные в ряде стран неядерные средства генерации мощного ЭМИ способны создавать кратковременные (в несколько наносекунд) потоки электромагнитного излучения, плотность которых достигает предельных значений относительно электрической прочности атмосферы. При этом, чем короче ЭМИ, тем выше порог допустимой мощности генератора.

Кроме временного нарушения функционирования (функционального подавления) РЭС, допускающего последующее восстановление их работоспособности, ЭМИ-генераторы могут осуществлять физическое разрушение (функциональное поражение) полупроводниковых элементов

РЭС, в том числе находящихся в выключенном состоянии. Следует отметить также возможность поражающего действия мощного излучения ЭМИ-генераторов на электротехнические и электроэнергетические системы и технику, в том числе на локально-вычислительные сети.

ЭМИ-генераторы могут быть созданы как в виде стационарных электронных сооружений направленного излучения, так и в виде и мобильных электромагнитных комплексов.

Обзор состояния разработок и тенденций развития технических средств создания мощного электромагнитного импульса, предназначенных для дистанционного поражения электронных компонентов информационно-управляющих систем различного назначения показывает высокие потенциальные свойства этих средств, позволяющие считать их чрезвычайно перспективным средством поражения как по способам, так и по масштабам применения.

Наиболее компактными на сегодня источниками энергии ЭМИ считаются спиральные взрывомагнитные генераторы (ВМГ), или генераторы с взрывным сжатием магнитного поля, имеющие наилучшие показатели удельной плотности энергии по массе (100 кДж/кг) и объему (10 кДж/см³), а также взрывные магнитодинамические генераторы (ВМДГ). В ВМГ с помощью взрывчатого вещества происходит преобразование энергии взрыва в энергию магнитного поля с эффективностью до 10%, а при оптимальном выборе параметров ВМГ – даже до 20%.

Такой тип устройств способен генерировать импульсы энергией в десятки мегаджоулей и длительностью до 100 мкс. Пиковая мощность излучения может достигать 10 ТВт. ВМГ могут применяться автономно или как один из каскадов для накачки генераторов. Ограниченная спектральная полоса излучения ВМГ (до нескольких мегагерц) делает их влияние на РЭС довольно избирательным. Вследствие этого возникает проблема создания компактных антенных систем, согласованных с параметрами генерируемого ЭМИ.

В ВМГ взрывчатка или ракетное топливо применяются для образования плазменного потока, быстрое перемещение которого в магнитном поле приводит к возникновению сверхмощных токов с сопутствующим электромагнитным излучением. Основное преимущество ВМГ – многообразие применения, поскольку картриджи со взрывчаткой или ракетным топливом могут закладываться в генератор многократно. Однако его удельные массогабаритные характеристики в 50 раз ниже, чем у ВМГ [4], и вдобавок технология ВМДГ еще не достаточно отработана, чтобы в ближайшей перспективе делать ставку на эти источники энергии.

К разряду более мощных ЭМИ систем радиочастотного диапазона относится вилокаторный генератор [5]. При соответствующем подборе

параметров конструкции и режима генерации вилокатор может создавать импульс с пиковой мощностью до 40 ГВт в дециметровом и сантиметровом диапазонах волн [6]. Благодаря высокой скорости нарастания тока в тандемах вилокатор – ВМГ возможна генерация сверхкоротких радиоимпульсов, длительность которых ограничена временем плавления анода.

Воздействующие деструктивные факторы (ВДФ) весьма многообразны и внутри каждого вида в основном различаются по интенсивности, режимам и времени воздействия. Все виды ВДФ могут действовать на объект независимо друг от друга, либо комплексно с различной степенью корреляции. В свою очередь, объекты избирательно воспринимают различные воздействия в зависимости от их структуры. Одновременно с усложнением конструкции объекта усложняется, и задача определения последствий влияния воздействующих факторов и тех мер, которые необходимо предпринять с целью сохранения работоспособности объекта в реальных условиях окружающей среды.

Поражающее действие СКИ ЭМИ на ЛВС может быть обусловлено как непосредственным воздействием импульсных электромагнитных полей на элементы ЛВС, так и наведенными в соединительных линиях и цепях токами и напряжениями. Чувствительность элементов ЛВС к воздействию СКИ ЭМИ в значительной степени зависит от положения ее относительно направления векторов электрического и магнитного полей, геометрических размеров электрических цепей и контуров, их конфигурации, взаимных связей, номиналов электрических нагрузок, величин емкостных и индуктивных связей с элементами конструкций системы и окружающей средой, качества экранирования и способа заземления.

Для ЛВС и ее составные части, у которых корпуса могут выполнять роль электромагнитных экранов, или расположенных в экранированных помещениях, ЭМИ воздействует главным образом через соединительные линии и разъемы. Таким образом, все виды проводящих объектов, имеющих в системе, играют роль коллекторов опасной энергии ЭМИ. Наведенные в проводниках токи и напряжения могут привести либо к электрическому пробое (например, пробоем изоляции кабеля), либо к повреждению подключенных к проводникам устройств, если в них имеются чувствительные к перенапряжению элементы. Наведенные импульсы могут разрушить и нарушить работу элементов ЛВС почти одновременно в ряде мест. Наведенные в проводниках токи и напряжения, как правило, тем больше, чем больше длина проводника, и зависят от условий его прокладки, ориентации и заземления. Наводка в рабочей цепи кабеля существенно зависит от того, является ли данный кабель экранированным или нет.

Особая опасность ЭМИ для ЛВС, кроме наличия возможных протяженных проводящих коммуникаций, обусловлена также сравнительно

низкой электрической прочностью их элементов и, напротив, высокой чувствительностью к электрическим помехам.

ВЫВОДЫ:

1. Проблема оценки и технического противодействия СКИ ЭМИ является актуальной с учетом форсированного развития средств генерации СКИ и сложностью полноценной технической реализации системы защиты от воздействий этого типа.

2. Особенностью СКИ ЭМИ по сравнению с другими поражающими факторами, которым подвержены РЭС, является способность энергии ЭМИ передаваться по соединительным линиям и воздействовать на входные элементы систем и устройств ЛВС.

3. Имеющиеся на данный момент технические средства генерации СКИ ЭМИ имеют высокие потенциальные свойства поражения РЭС, обеспечиваемые многообразием способов воздействия ЭМИ и масштабностью этого воздействия, что требует разработки более совершенных способов защиты от данного поражающего фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Акбашев, Б. Б., Степанов, П. В., Ольшевский, А. Н.** Современное состояние телекоммуникационных технологий. Сборник научных трудов МИЭМ под ред. Кечиева Л.Н., 2007. – С. 7-15.

2 **Акбашев, Б. Б., Михеев, О. В., Ольшевский, А. Н., Степанов, П. В.** Основные направления исследований по проблеме ЭМС устройств телекоммуникаций. Сборник научных трудов МИЭМ под ред. Кечиева Л. Н., 2006. – С. 18-20.

3 **Ольшевский, А. Н.** Актуальность проблемы стойкости систем видеонаблюдения к воздействию сверхширокополосных ЭМИ и методический подход к её решению. Московский союз научных и общественных объединений, сборник научно-технических статей, Москва, 2006. – С. 45-48.

4 M3L-HDBK-235. Military Handbook. Electromagnetic (Radiated) Environment Considerations for Design and Procurement of Electrical and Electronic Equipment, Subsystems and Systems. General Guidance. – 1993. – 20 p.

5 **Подосенов, С. А., Потапов, А. А., Соколов, А. А.** Импульсная электродинамика широкополосных радиосистем и поля связанных структур. – Москва, 2003.

6 Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. – М., Издательский Дом «Технологии», 2003.

Казахский национальный технический университет
имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 17.09.14.

А. К. Шайхин, А. Е. Анарбаев, А. В. Антонцев

Аса қысқа электромагниттік импульстің жергілікті жүйе байланысына әсер етуі

К. И. Сәтпаев атындағы

қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы қ.

Материал 17.09.14 баспаға түсті.

A. K. Shaikhin, A. E. Anarbayev, A. V. Antoncev

Super short electromagnetic pulse impact on the local area networks

Kazakh National Technical University

after K. I. Satpayev, Almaty.

Material received on 17.09.14.

Осы жұмыста аса қысқа электромагниттік импульстің жергілікті жүйе байланысына әсер етудің мәселесі қарастырылған. Қазіргі электромагниттік импульс генераторлардың сипаттамасы көрсетілген. Аса қысқа электромагниттік импульсқа қарсы тиімді құрал жасау өзекті мәселе болғаны дәлелденген.

The problem of super short electromagnetic pulse impact on the local area networks is considered in this paper. The characteristics of modern electromagnetic pulse generators are specified. Creation of effective resistance facilities against super short electromagnetic pulses is justified.

А. Н. Новожилов*, **А. М. Акаев***, **Т. А. Новожилов****,
Е. М. Волгина*

ОБЗОР ЗАЩИТ ОТ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В СИНХРОННЫХ МАШИНАХ

В статье проведен анализ существующих принципов построения защит синхронных машин от витковых замыканий в обмотках статора и ротора с целью выбора наиболее перспективного из них.

Ключевые слова: синхронные машины, витковые замыкания, магнитное поле, обмотка статора, обмотка ротора, релейная защита.

Класс синхронных машин (СМ) состоит из генераторов, двигателей и компенсаторов. Условия безопасной эксплуатации и надежности работы синхронных генераторов, двигателей и компенсаторов в значительной мере зависят от возможностей их релейной защиты [1-5].

Известно, что большая часть замыканий в обмотке статора СМ, также как и в асинхронных двигателях, начинаются с однофазного замыкания на корпус (ОЗК) или виткового замыкания (ВЗ). При ВЗ ток в обмотке статора увеличивается незначительно, а в замкнувшихся витках возрастает в десятки раз от своего номинального значения [6]. Нередко в точке замыкания возникает электрическая дуга, которая приводит к расширению размеров повреждения. При этом ВЗ переходит в однофазное замыкание на землю (ОЗЗ) или в междуфазное короткое замыкание (КЗ). В результате объем разрушений обмоток будет определен только чувствительностью и временем срабатывания используемых защит [1].

ВЗ в обмотке ротора СМ обычно возникает при двойном замыкании на землю или замыкании расположенных рядом витков. В первом случае может замкнуться произвольное число витков, а во втором – замыкается только один виток или один ряд витков. При этом ток в замкнувшихся витках становится равным нулю. Такое замыкание сопровождается несимметрией магнитодвижущей силы обмотки ротора, а следовательно ростом вибрации. Что значительно повышает вероятность выхода элементов конструкции машины из строя [1,7]. С учетом этого устройства релейной защиты синхронной машины от ВЗ должны иметь высокую чувствительность.

Все известные защиты СМ от ВЗ в обмотке статора можно условно разделить на традиционные и нетрадиционные.

Традиционно для защиты СМ от КЗ в обмотке статора используются токовые отсечки или дифференциальные защиты. Токовые отсечки применяют для защиты СМ мощностью до 5000 кВт. Они просты, дешевы и способны локализовать междуфазные КЗ в обмотках статора. Однако в силу малой чувствительности токовые отсечки не способны реагировать на ВЗ и поэтому отключают СМ только при значительных повреждениях этой обмотки.

При мощности СМ больше 5000 кВт для защиты используют дифференциальную защиту. Она может использоваться и на СМ мощностью 3500 кВт, если токовая отсечка не удовлетворяет чувствительности. Иногда критерием использования дифференциальной защиты может служить ответственность и стоимость СМ.

Все виды дифференциальной защиты СМ обычно делят на дифференциальные токовые защиты, дифференциальные токовые защиты с торможением и дифференциально-фазные защиты. Из опыта эксплуатации известно, что дифференциальные защиты достаточно чувствительны к многофазным КЗ, но не способны реагировать на ВЗ. Иногда для защиты их от ВЗ используют односистемную поперечную дифференциальную защиту, которая достаточно чувствительна к ВЗ [2,3]. Однако для реализации этой защиты на СМ требуется наличие двух параллельных ветвей в обмотке статора.

Нетрадиционные защиты обмотки статора СМ от КЗ многочисленны и разнообразны. Все их можно условно разделить на защиты, которые реагируют на: напряжение «смещения» нейтрали, токи симметричных и гармонических составляющих, углы между токами фаз, наложенные токи высокой частоты, а также изменение магнитных полей рассеяния внутри и снаружи машины.

Работа защит, которые реагируют на напряжение «смещения» нейтрали, аналогична работе односистемной поперечной дифференциальной защиты. Такие защиты используют при наличии у СМ одной ветви. При их реализации используется разница напряжений между нейтралью электрической машины и нулевой точкой, которую создают искусственно с помощью специального трехфазного дросселя или дополнительных сопротивлений [2,8]. Однако такие защиты имеют низкую чувствительность к ВЗ из-за необходимости отстройки их от небаланса при внешних КЗ [9].

Защиты, которые реагируют на токи прямой и обратной последовательности являются наиболее изученными. Работа устройства типа АЗЭД основана на измерении токов обратной последовательности. По данным [10] доля защищаемых АЗЭД витков составляет около 80% обмотки статора. При этом, чем меньше витков обмотки статора повреждено, тем больше будет время срабатывания.

Более совершенна максимальная токовая фильтровая защита (МТФЗ) [10]. Она способна защитить СМ не только от ВЗ, но и от многофазных КЗ, обрывов фаз, перегруза и повреждений стержней ротора. Выдержка времени МТФЗ в зависимости от условий эксплуатации принимается равной 0,5–2,5 секунды. Это значительно усугубляет размеры повреждения обмотки статора. В соответствии с [10] МТФЗ реагирует на замыкание не менее 7-8% обмотки. Это вызвано необходимостью отстройки от несимметрии напряжения питающей сети.

Известно, что при ВЗ в СМ возникают нечетные гармонические составляющие токов [11]. Однако использование третьей гармоники нецелесообразно из-за наличия ее в ферромагнитных преобразователях тока (ФПТ) и ферромагнитных преобразователях напряжения (ФПН) в симметричном режиме. Использование гармоник более высоких порядков затруднительно в связи с резким уменьшением их амплитуды при увеличении порядка гармоники. В наибольшей степени для этого подходит пятая гармоника. При этом защита срабатывает на замыкание около 4% витков обмотки статора [12]. Однако использование ФПТ и ФПН с добротностью 80-100 дБ значительно усложняют и удорожают защиту.

Известно также, что при любых замыканиях в обмотке статора СМ изменяются углы между токами фаз. Устройства защиты, которые контролируют изменения углов по времени перехода функций токов фаз через нуль и сравнении этого времени с заданным значением приведены в [13-15]. Эти устройства просты в реализации, однако их чувствительность к ВЗ ограничена величиной несимметрии питающей сети и колебаниями частоты сети.

Иногда контроль целостности обмотки статора осуществляют по величине наложенного тока в обмотке статора, которая зависит от величины индуктивного сопротивления обмоток и сопротивления их изоляции. При этом напряжение повышенной частоты прикладывается между нулевой точкой электрической машины и нулевой точкой силовой сети [16,17]. Однако такие устройства обладают низкой чувствительностью, так как доля охватываемых защитой витков в обмотке статора составляет примерно 50-80%.

Наиболее чувствительны к ВЗ устройства защиты, работа которых основана на измерении изменения магнитных потоков лобового рассеяния обмотки статора. Для их реализации используют магнитные трансформаторы (МТ) в виде катушек индуктивности. Их располагают в той торцевой зоне СМ, в которой отсутствуют межсекционные соединения. Наиболее перспективны кольцевые и точечные МТ [18-24]. Защиты СМ с такими МТ реагируют на замыкание 0.3-0.5% витков одной фазы.

Традиционно защиты от ВЗ в обмотке ротора не устанавливаются [2, 3]. Для защиты СМ от замыкания на землю во второй точке обмотки возбуждения наибольшее распространение в СНГ получила защита типа КЗР-2 [2, 3]. Она подключается к цепи возбуждения СМ и настраивается при появлении в ней первого замыкания на землю. Появление второй точки замыкания на землю приводит к срабатыванию КЗР-2 и выдачи предупредительного сигнала.

В одном из нетрадиционных способов защиты СМ от ВЗ в обмотке ротора предлагается использовать воздействия импульсного напряжения на обмотку ротора, при котором возникает бегущая волна вдоль обмотки. Суть способа заключается в сравнении формы кривых с отраженной волной. Если возникает ВЗ на роторе, то отраженная волна будет существенно отличаться от прямой. При отсутствии ВЗ формы кривых практически одинаковы [25].

Достоинством данного способа является возможность определения места нахождения ВЗ. При этом погрешность определения места ВЗ не превышает 5 %. К недостаткам следует отнести наличие зоны нечувствительности вблизи точки первого замыкания и вблизи контактных колец, а также сложность реализации.

Более прост способ защиты СМ от ВЗ основанный на измерении полного сопротивления обмотки ротора с помощью фиксированного напряжения при разных частотах его вращения [26]. Дело в том, что в неповрежденном роторе при плавном изменении его скорости вращения сопротивление обмотки меняется плавно, а при ВЗ меняется со скачком.

Одним из эффективных методик выявления ВЗ в роторе СМ является измерение магнитного поля ротора с применением МТ [27, 28]. Их устанавливают по одному [28,29] или по несколько [30-32]. Количество их установки зависит от способов измерения магнитного поля и конструктивных особенностей СМ. С помощью применения этих МТ можно уточнить места расположения замкнувшихся витков [30-32].

Так как данные МТ устанавливаются внутри СМ, то они должны выдерживать ветровые нагрузки внутри машины без повреждения и их можно повредить при разборке и сборке машины. Кроме этого требуется согласие производителя СМ на установку такого МТ.

Выводы

1. Традиционные защиты от ВЗ обмотки статора СМ обладают низкой чувствительностью, так как изменение фазного тока при замыкании малого числа витков незначительно, а пусковые токи превышают номинальные в несколько раз.

2. Чувствительность не традиционных защит от ВЗ обмотки статора СМ, как правило, ограничена только несимметрией машины и питающей сети.

3. Наиболее чувствительны к ВЗ в обмотке статора защиты на встроженных МТ.

4. СМ, как правило, не имеют защит от ВЗ в обмотке ротора, а существующие защиты типа КЗР-2, способны реагировать на ВЗ в роторе, подключаются к СМ только тогда, когда в ее цепи возбуждения появляется замыкание на корпус.

5. Проведенный анализ показал, что для построения защит от ВЗ в обмотке ротора следует использовать встроенные МТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Корогодский, В. И., Кужеков, С. Л., Паперно, Л. Б.** Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 248 с.

2 **Федосеев, А. М.** Релейная защита электрических систем. – М. : Энергия, 1976. – 559 с.

3 **Чернобров, Н. В.** Релейная защита. – М. : Энергия, 1974. – 680 с.

4 **Андреев, В. А.** Релейная защита, автоматика и телемеханика в системе электроснабжения. – М. : Высшая школа, 1975. – 391 с.

5 **Беркович, М. А., Молчанов, В. В., Семенов, В. А.** Основы техники релейной защиты. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.

6 **Новожилов, А. Н.** Математическое моделирование эксплуатационных и аварийных режимов работы асинхронных двигателей // Электричество. – 2000. – №5. – С. 37–41.

7 **Ермолин, Н. П., Жерихин, И. П.** Надежность электрических машин. – Л. : Энергия, 1976. – 247 с.

8 **Фильтишинский, А. А.** Новые схемы защиты от замыканий между двигателями одной фазы. – Электрические станции, 1936. – №3. – С. 1–12.

9 Патент Польши № 55132 кл. С68/50. – 1968.

10 Гимоян Г. Г. Релейная защита горных электроустановок. – М.: Недра, 1978. – 349 с.

11 **Силаева, Т. А., Назаров, Ю. Г.** Способ защиты синхронных генераторов от витковых замыканий в обмотке статора. – Электричество, 1975. – №4. – С. 12–16.

12 А. С. №917255 СССР. Устройство для защиты трехфазного асинхронного электродвигателя от витковых замыканий в обмотке статора // Богдан А. В., Воронич И. А., Калмыков В. В. Оpubл. 20.08.82.

13 А. С. №488280 СССР. Импульсное устройство для защиты трехфазной нагрузки от несимметричных режимов работы. / Галкин В. Д., Шульц И. И., – Б.И. 1975. – № 28.

14 А. С. № 951535 СССР. Устройство для защиты трехфазных потребителей от несимметрии фазных токов. / Верфоломеев Е. П., Кужеков С. П. и Рубан В.П. – Б.И. 1982. – № 30.

15 А. С. № 1120443 СССР. Устройство для защиты трехфазного электродвигателя от несимметрии фазных токов. / Клецель М. Я., Новожилов А. Н., Нелюбин В. П., Поляков В. Е. – Б. И. 1984. – № 39.

16 А. С. № 458782 СССР. Способ контроля межвитковой изоляции обмоток. / Рябов Ю. Ф., Корпушенко В. А. и Хабаров Н. И. – Б. И. 1977. – № 4.

17 А. С. № 917257 СССР. Способ защиты от межвитковых замыканий в обмотках трехфазных электрических машин. / Корпиловский Я. Н. – Б. И., 1982. – № 12.

18 А.С. №1046825 СССР. Способ защиты трехфазного электродвигателя от короткого замыкания // Клецель М. Я., Новожилов А. Н., Поляков В. Е. Оpubл. 07.10.83.

19 А.С. №1046853 СССР. Электрическая машина // Клецель М. Я., Новожилов А. Н. – Б. И. 1983. – № 37.

20 А.С. №1046852 СССР. Электрическая трехфазная машина с встроенным блоком для защиты от повреждений обмотки статора // Клецель М. Я., Новожилов А. Н., Поляков В. Е. Оpubл. 07.10.83.

21 А.С. №1046826 СССР. Электрическая трехфазная машина // Клецель М. Я., Новожилов А. Н. и др. Оpubл. 07.10.83.

22 United States Patent № 4, 453, 190 (США). Method of short circuit protection of electrical three-phase machine and device the refor.

23 А. С. № 1095315 СССР. Обмотка электрической машины или аппарата. / Бурькин В. В., Савельев В. А. и Павлов Г.М. – Б. И., 1984. – № 20.

24 А. С. № 1194234 СССР. Устройство для защиты от короткого замыкания в обмотке статора трехфазной электрической машины. / Новожилов А. Н. – Б. И., 1985.

25 **Клецель, М. Я., Новожилов, А. Н.** Замыкание обмотки статора и их выявление с помощью точечных преобразователей / Павлодарский индустриальный институт. Павлодар, 1985. – 19 с. – Рукопись деп. В КазНИИНТИ 01.04.85, № 905 Ка – 85 Деп.

26 **Wood, J. W., Hindmarch, R. T.** Rotor winding detektion// IEEE Proceedings. 1986. Vol. 133. pt-B, N 3. P. 181-186.

27 **Jackson, R. J., Roberts, I. A., Thurston, R. C., Worsfold, J. HD.** Generator rotor monitoring in the United Kingdom. Доклад 11-04 на сессии СИГРЭ 1986 г. Пер. с англ. В.М. Надточего.

28 **Глебов, И. А., Данилевич, Я. Б.** Диагностика турбогенераторов. – Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1989.

29 А. С. 951571 (СССР) Устройство для контроля витковых замыканий в обмотке ротора электрической машины // В. В. Кузьмин, В. Б. Каплунов, В. И. Лицов, А. К. Шофун – Б. И. 1982. – №30.

30 Патент №5381 (KZ). Способ защиты электрической синхронной электрической машины от виткового замыкания. Полищук В. И., Кислов А. П., Новожилов А. Н. //Официальный бюллетень Пром. Собственность. 1997. – №4.

31 Патент №17810 (KZ). Способ защиты синхронной электрической машины от витковых и двойных на землю замыканий обмотки ротора. Полищук В. И., Новожилов А. Н., Новожилов Т. А. // Пром. Собственность. 2006. – №9.

32 Новожилов, А. Н., Полищук, В. И., Воликова, М. П. Устройство защиты обмотки ротора синхронного генератора от витковых и двойных замыканий на землю // Электричество. – 2012. – №6. – С. 54-58.

*Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар;
**Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.
Материал поступил в редакцию 19.09.14.

A. N. Novozhilov, A. M. Akayev*, T. A. Novozhilov**, E. M. Volgina**

Синхронды машиналарда орамдық тұйықталулардан қорғаныстарды қарастыру

*С. Торайгыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.,
**Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы қ., Ресей.
Материал 19.09.14 баспаға түсті.

A. N. Novozhilov, A. M. Akayev*, T. A. Novozhilov**, E. M. Volgina**

Review of a synchronous machine protection against interturn short circuits

*S. Toraihyrov Pavlodar State University, Pavlodar;
**Omsk State Technical University, Omsk, Russia.
Material received on 19.09.14.

Мақалада статор және ротор орамаларында орамдық тұйықталулардан синхронды машиналардың қорғаныстарын тұрғызудың қолданыстағы қағидаларын олардың ішінен ең болашағы зорын таңдау мақсатымен талдау жүргізілді.

The article analyzes a synchronous machines's stator and rotor windings' short circuit protection existing principles in order to select the most promising of these.

НАШИ АВТОРЫ

Азаматова Дана Айболатовна – магистр теплоэнергетики, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Акаев Айбек Муратбекович – магистр Электроэнергетики, докторант кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Анарбаев Алибек Ерсанович – докторант PhD 1 курса специальности 6D071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Антонцев Александр Витальевич – магистрант 2 курса специальности 6M071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Аринов Е. – Жезказганский университет имени О. А. Байконурова.

Ахметбаев Д. С. – Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.

Ахметбаев А. Д. – Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.

Байкенова Норбиба Батырқожаевна – старший преподаватель кафедры «ЭиА», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Байжуманов Мухтар Казбекович – доктор PhD, к.ф.м.н., ректор Академии Гражданской Авиации РК, г. Алматы.

Бек Е. В. – магистрант, НИИ ТПУ, Россия, г. Томск.

Бороденко Виталий Анатольевич – д.т.н., профессор, кафедра «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Бойко Г. Ф. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Волгина Е. М. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Габдулов Асет Уральбаевич – магистр электроэнергетики, преподаватель, кафедра «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Гоненко Татьяна Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «Электрическая техника», Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

Гоненко Константин Владимирович – магистрант кафедры «Электрическая техника», Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

Глок Кристина Сергеевна – м.т.н., преподаватель кафедры «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Говорун Владимир Федорович – д.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Джаманбаев Мураткали Абенович – к.ф.-м.н., доцент, Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Деревягин Сергей Иванович – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Исенова А. Ж. – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Игонин С. И. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Калиев Бахтыбек Зейнелькабиденович – к.т.н., профессор, кафедра «Электроэнергетика», Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар.

Каримбаев Салиакын Жумадилович – к.т.н., Академия Гражданской Авиации, зав. кафедрой №10 «Авиационная техника и летная эксплуатация», г. Алматы.

Кайдар Аргын Бауыржанұлы – магистрант, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Кислов Александр Петрович – к.т.н., профессор, декан, член – корреспондент Международной академии информатизации, член – корреспондент Академии электротехнических наук РФ, Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Комлева Е. В. – Технический университет, Дортмунд, Германия.

Копьрин Владимир Сергеевич – к.т.н., профессор, Директор ООО «НПП «Энергия и экология», г. Екатеринбург, РФ.

Кривко Людмила Ивановна – старший преподаватель кафедры «ЭиА», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Лопатина Л. Г. – ФГБОУ ВПО, Омский государственный технический университет, Омск, Россия.

Лукутин Борис Владимирович – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Любецкая М. А. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Марковский Вадим Павлович – к.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Мендыбаев Сергазы Амиргалиевич – к.т.н., доцент кафедры «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Мустафина Раиса Мухаметжаровна – к.т.н., доцент, профессор кафедры «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Мустафина Дана Булатовна – студентка 3-го курса специальности «Информационные технологии и системы», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Муканова Балгайша Гафуровна – д.ф.-м.н., профессор, факультет информационных технологий, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана.

Нагорнюк А. А. – научный сотрудник, Житомирский военный институт Государственного университета телекоммуникаций.

Никифоров Александр Степанович – д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Новожилов А. Н. – Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Новожилов Т. А. – Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

Никитин К. И. – ФГБОУ ВПО, «Омский государственный технический университет», Омск, Россия.

Оришевская Елена Вячеславовна – ст. преподаватель, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Падруль Надежда Михайловна – к.т.н., доцент кафедры «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Писарчук А. А. – д.т.н., старший научный сотрудник, начальник кафедры, Житомирский военный институт Государственного университета телекоммуникаций.

Приходько Евгений Валентинович – к.т.н., доцент кафедры «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Приходько Евгений Валентинович – к.т.н., доцент кафедры «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Птицын Д. В. – Мастер ВЛ и ЭХЗ ЧНПС НРНУ ОАО «Транснест-нефть».

Птицына Е. В. – Омский государственный технический университет, Омск.

Садвокасова Гаухар Максutowна – магистр техники и технологии, ст. преподаватель, кафедра «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Сартаев Куанышбек Зауырбекович – д.т.н., профессор, Екибастузский инженерно-технический институт имени К. Сатпаева, г. Екибастуз.

Сарсикеев Ермек Жасланович – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Сурков Михаил Александрович – к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Токенов Нурмахан Пернеханович – докторант, Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

Тулбаева Жанар Амангельдиновна – магистр техники и технологии, кафедра «Теплоэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Хацевский Владимир Филатович – д.т.н., профессор кафедры «Электротехника и автоматизация», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Хацевский Константин Владимирович – д.т.н., профессор кафедры «Электрическая техника», Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия.

Шапкенов Бауыржан Кайдарович – к.т.н., ассоциированный профессор, действительный член ВАН комплексной безопасности, кафедра «Электроэнергетика», Павлодарский государственный университет имени С. Торайгырова, г. Павлодар.

Шайхин Агыйбай Калиякович – к.ф.-м.н., доцент кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы.

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 двумя рецензиями доктора или кандидата наук для всех авторов. Для статей, публикуемых в журнале «Вестник ПГУ» химико-биологической серии, требуется экспертное заключение.

4. Периодичность издания журналов – четыре 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 (полуторный);
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 HSBKZZKX 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

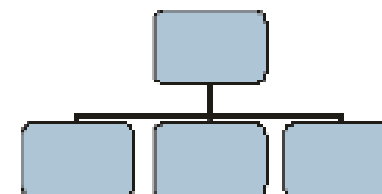
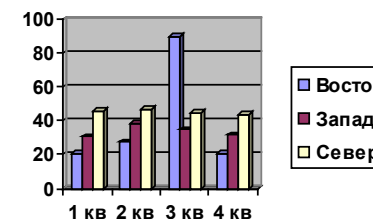


Рисунок 1 – Социальные взаимоотношения

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 22.04.14.

А. Б. Есімова

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

Қ. А. Ясауи атындағы Халықаралық
казак-түрік университеті, Түркістан қ.
Материал 22.04.14 баспаға түсті.

A. B. Yessimova

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

K. A. Yssawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan.
Material received on 22.04.14.

Бұл мақалада автор Қазақстандағы әйелдердің отбасылық-туыстық қатынасы арқылы репродуктивті мінез-құлықта 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 22.09.2014 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2014 ж. қол қойылды.
Форматы 70x100 1/16. Кітап-журнал қағазы.
Көлемі шартты 11,6 б.т. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: А. Елемесқызы
Корректорлар: А. Елемесқызы, З. С. Исакова, А. Р. Омарова
Тапсырыс № 2405

Сдано в набор 22.09.2014 г. Подписано в печать 30.09.2014 г.
Формат 70x100 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем 11,6 ч.-изд. л. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: А. Елемесқызы
Корректоры: А. Елемесқызы, З. С. Исакова, А. Р. Омарова
Заказ № 2405

«КЕРЕКУ» баспасы
С. Торайғыров атындағы
Павлодар мемлекеттік университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69
E-mail: kereky@mail.ru