



ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
«ХПИ»

57'2011

Факультету

**АП
50!**

Харьков

**ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»**

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

«Автоматика и приборостроение»

57'2011

**Издание основано Национальным техническим университетом
«Харьковский политехнический институт» в 2001 году**

Государственное издание

**Свидетельство Госкомитета по
информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года**

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л. Товажнянский, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.;
А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.;
Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.;
Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.;
Л.М. Бесов, д-р ист. наук, проф.;
А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.;
Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.;
М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.;
А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.;
В.Г. Даныко, д-р техн. наук, проф.;
В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.;
И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.;
В.В. Елифанов, канд. техн. наук, проф.;
Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.;
П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.;
С.И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;
В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.;
В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;
Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.;
В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.;
О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.;
В.И. Николаенко, канд. ист. наук, проф.;
П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.;
В.А. Пуляев, физ.-мат. наук, проф.;
М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.;
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;
Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.;
Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

А.Н. Борисенко, д-р техн. наук, проф.

В.М. Боев, д-р техн. наук, проф.;
А.И. Гапон, канд. техн. наук, проф.;
Л.В. Дербунович, д-р техн. наук, проф.;
А.И. Рогачев, д-р техн. наук, проф.;
Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.;
С.И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.;
А.Г. Гурин, д-р техн. наук, проф.;
М.В. Гунбин, канд. техн. наук, доц.;
М.И. Корсунов, д-р техн. наук, проф.;
Д.В. Сперанский, д-р техн. наук, проф.
(г. Москва);

Адрес редколлегии:

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21
НТУ «ХПИ», каф. АУТС
Тел. (057) 707-21-01

Харьков 2011

Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 57 – 170 с.

В збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками різних організацій та установ.

Для викладачів, наукових співробітників, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты исследований и разработок, выполненных преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками различных организаций и предприятий.

Для преподавателей, научных сотрудников, специалистов.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ»

Протокол № 11 від 25.11.2011 р.

ISSN 2079-083x

© Національний технічний університет «ХПІ», 2011

А. Н. БОРИСЕНКО, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
О. Л. РЕЗИНКИН, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»,
В. П. САМСОНОВ, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
Е. Е. ТВЕРИТНИКОВА, канд. ист. наук, доцент НТУ «ХПИ»

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. 80 ЛЕТ В ХПИ

У статті висвітлено основні етапи розвитку кафедри «Теоретичних осни електротехніки» Харківського політехнічного інституту. Показано сучасний стан і перспективи розвитку наукових досліджень кафедри.

В статье отражены основные этапы развития кафедры «Теоретических осни электротехники» Харьковского политехнического института. Показаны современное состояние и перспективы развития научных исследований кафедры.

The article highlights the main stages of development of the department, "Theoretical Electrical Engineering Osny" Kharkov Polytechnic Institute. Prospects for the current state and prospects of development of scientific research.

В 1931 г. была по инициативе профессора П. П. Копняева, была создана кафедра «Теоретические основы электротехники», одна из старейших кафедр факультета. Заведующим кафедрой был назначен Александр Павлович Сукачев. Большое значение для становления теоретических основ электротехники (ТОЭ) как самостоятельной научно-технической дисциплины имел первый учебник изданный на украинском языке в 1935 г. «Теория переменных токов», а также руководство по практикуму по ТОЭ (автор А. П. Сукачев). Эти работы стали базой для создания учебных программ электроэнергетической и электромашиностроительный специальностей. 1940 г. А. П. Сукачев защитил кандидатскую диссертационную работу по теме «Реактивность электротехнических цепей», которая стала обобщением исследований физических процессов в электротехнических сооружениях.

Перед самой Великой Отечественной войной кафедрой заведовал молодой талантливый ученый Александр Михайлович Эфрос.

Характерной чертой учебного процесса в Харьковском электротехнического (ХЭТИ) института стало углубление теоретической подготовки инженеров благодаря расширению курса ТОЭ. Это способствовало выделению еще одного научного направления. Теоретические задачи, которые в то время решались в технике высоких напряжений, радиотехнике, электрических измерениях, при проектировании электрических сетей энергетики и связи, требовали новых средств экспериментов, математических методов анализа. Формирование учебных программ и курсов базировалось на опытах, которые проводили ученые

кафедры «Теоретические основы электротехники». Повышению уровня исследований, которые проводились в ХЭТИ, способствовало сотрудничество общетехнических и специальных кафедр, в частности сотрудничество с кафедрой математики – заведующий профессор В. Ф. Бржечка, опытный математик, доктор физико-математических наук, автор тридцати научных работ, выдающийся педагог-методист, инициатор создания в 1950-х годах первой в Харькове лаборатории вычислительной техники на кафедре высшей математики Харьковского политеха.

В этот период в ХЭТИ появились молодые ученые, которые имели фундаментальную подготовку по математике, благодаря профессору В. Ф. Бржечка, и были электриками по специальности. Выпускники электротехнического факультета ХЭТИ, в дальнейшем преподаватели кафедры математики и «Теоретических основ электротехники» А. М. Эфрос и А. М. Данилевский. Эти обстоятельства способствовали развитию в институте теоретических исследований в области электротехники.

В связи с развитием электропромышленности в начале 1930-х гг. становились актуальными увеличение мощности генераторов и переход к высоким напряжениям. Увеличение передаваемой мощности и возросшая сложность электрических сетей сделали необходимыми проведение научных исследований в области теоретического изучения переходных процессов в электрических цепях энергетических систем. Встала проблема создания более совершенных методов решения систем линейных дифференциальных уравнений, описывающих эти процессы. Одним из методов, который применялся при решении задач математической физики, стал операторный метод, основанный на преобразование Лапласа. С 1932 г. этот метод стал одним из основных методов ТОЭ. Над дальнейшим развитием метода и применением его в задачах работали А. М. Эфрос и А. М. Данилевский. Результатом этой работы стала публикация монографии ученых, где было подробно обоснована целесообразность применения математических методов для решения важных задач переходных процессов.

В 1940 г. А. М. Эфрос обобщил результаты исследований в диссертации на звание доктора физико-математических наук (ему тогда было 33 года). Он разработал математическую теорию синтеза линейных электрических цепей, провел фундаментальное исследование по обобщению операционного исчисления при помощи контурных интегралов и по развитию операционного метода анализа применительно к решению задач по математике, физике, механике, электротехнике.

События Великой Отечественной войны не обошли стороной ни одно из подразделений нашего института. Во время оккупации Харькова погибли талантливые ученые: А. М. Эфрос, который остался в городе с больными родителями и погиб в еврейском гетто в районе Харьковского тракторного завода и А. М. Данилевский, который не успел эвакуироваться и погиб в первые месяцы оккупации. Безусловно, гибель молодых талантливых ученых

тормозила развитие теоретической электротехники в послевоенные годы. Во время оккупации уничтожено уникальное оборудование ХЭТИ, которое не успели вывезти. В частности был подорван передвижной генератор импульсов, сожжены техническая документация и уникальная библиотека электротехнического института.

В 1960 г. с образованием факультета «Автоматика и приборостроение» кафедра ТОЭ вошла в состав нового факультета. Кафедру возглавлял доцент А. П. Сукачев. С 1966 г. кафедрой руководили доценты Ю. Г. Дрикер и П. М. Егоров, профессор В. Л. Бенин. С 1985 по 2010 гг. кафедру возглавлял кандидат технических наук, профессор В. П. Самсонов – член научно-методического совета Госкомобразования СНГ и научно-методической комиссии Министерства образования и науки Украины по теоретическим основам электротехники.

Кафедра сделала большой вклад в становление и развитие теоретической электротехники в Украине, имеет огромный опыт, глубокие традиции, теоретическую школу, созданную известными учеными и педагогами профессорами П. П. Копняевым, А. М. Эфросом, В. Л. Бениным (один из создателей основ применения автоматизированных систем в энергетике), Д. С. Колобковым, доцентами А. П. Сукачевым, Г. В. Остроумовым и другими. Их усилиями сформирована на высоком научном и методическом уровне классическая часть курса теоретических основ электротехники.

Профессорско-преподавательский состав кафедры включает пять профессоров, три доцента, три старших преподавателя и ассистента. Из них 85% преподавателей имеют ученые степени. В следующем году планируется поступление двух преподавателей – стажеров в очную аспирантуру.

Совершенствование педагогического мастерства преподавателей кафедры обеспечивается системой повышения квалификации, и взаимным посещением занятий. На кафедре успешно функционирует аспирантура. За последние 25 лет защищено около 20 диссертаций, в том числе две докторские. Педагогический коллектив имеет высокий уровень квалификации, что обеспечивает качество подготовки специалистов электротехнического профиля, соответствующее современным требованиям.

Материально-техническая база кафедры позволяет проводить лабораторные занятия более чем для 100 академических групп в семестр. Общая площадь помещений составляет 668 квадратных метров, из них учебно-лабораторных – 503 квадратных метра (75 %). Имеется четыре лабораторных класса, оборудованных 43 универсальными стендами, и аудиторный класс, позволяющие проводить лабораторно-практические занятия. Лабораторная база кафедры обеспечена информационными материалами. Ежегодно на кафедре обучается около 2 тысяч студентов.

Кафедра ТОЭ проводит обучение студентов по курсам теоретические основы электротехники на 7 факультетах, теория электрических и магнитных цепей, техническая электродинамика, общая электротехника на факультете

АП, теория электрических и электронных цепей по специальности «Промышленная электроника» факультета электромашиностроительного для студентов дневной и заочной форм обучения. Кафедра создала специализированные курсы отдельно для студентов энергетического профиля (Э, ЭМС факультеты) и приборостроительного профиля (АП, ЭМС по специальности «Промышленная электроника»), а также для студентов-электrofизиков (факультет ФТ).

Курсы ТОЭ и ТЭМЦ являются базовыми при подготовке специалистов электротехнического профиля и с курсами физики и высшей математики составляют основу их фундаментальной подготовки. В то же время эти курсы готовят студентов к изучению всех специальных электротехнических курсов. Создание двух различных базовых курсов – ТОЭ и ТЭМЦ – было обусловлено специализацией подготовки бакалавров и специалистов энергетического и приборостроительного направлений.

Базовая вузовская подготовка бакалавров начинается со II курса и ориентирована на усвоение студентами общетеоретических положений электротехники, овладение прикладными методами анализа и расчетов электрических и магнитных цепей и электромагнитных полей, создание и расширение электротехнического мировоззрения студентов, и приобщение их к самостоятельной творческой работе.

Курс ТОЭ наиболее полно соответствует специализированной подготовке студентов энергетического профиля. Он предусматривает усиленное изучение теории и методов расчетов линейных и нелинейных электрических и магнитных цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами в установившихся и переходных режимах, а также углубленное изучение теории электромагнитного поля, аналитических и численных методов его расчета и моделирования.

Созданный под руководством профессора Д. С. Колобкова новый курс «Теория электрических и магнитных цепей» призван наиболее полно отвечать интересам приборостроительных специальностей. Он позволяет на базе одного методического подхода к анализу прохождения сигналов через электрическую цепь, который основывается на применении спектральных методов (временного, частотного и операционного), уплотнить преподавание основных положений курсов теоретические основы электротехники и теоретические основы радиоэлектроники и основ ТАУ (теория автоматического управления), значительно сэкономить учебное время наряду с высоким уровнем усвоения материала студентами.

Профессором В. П. Самсоновым был подготовлен и апробирован учебный курс, который обобщил опыт Массачусетского технологического института (США) и опыт преподавания ТЭМЦ на АП факультете. Особенностью нового курса является единая методика изложения теории линейных и нелинейных, пассивных и активных, электрических и электронных, время инвариантных цепей с изменяемыми во времени параметрами. В основу этого

курса положены численные методы анализа и моделирования с применением современных ЭВМ. Курс одобрен методической комиссией Министерства образования Украины и предназначен для электротехнической подготовки бакалавров по специальностям, связанным с системами управления, коммуникации и обработки информации измерительными и вычислительными комплексами.

Кроме того, на кафедре впервые в институте введен принципиально новый курс «Техническая электродинамика» для студентов АП факультета по специальностям медико-биологического профиля. Подготовлены курсы «История науки и техники», «История инженерной деятельности», которые позволяют сформировать у студентов целостное электротехническое мировоззрение и реализовать взаимосвязи между физико-математической базой, курсом ТЭМЦ и последующими специальными дисциплинами. В этих курсах особенный акцент сделан на гуманизацию технического образования, рассматриваются проблемы экологической чистоты окружающей среды. Все курсы обеспечены учебной и методической литературой. Только за последние пять лет кафедрой издано около 30 научных трудов, пять учебных пособий (в том числе четыре с грифом Министерства образования Украины) и свыше 40 методических указаний по подготовке к практическим занятиям, выполнению РГР, курсовых и лабораторных работ.

На кафедре систематически проводится значительная работа по сохранению классической школы ТОЭ и ее развитию в соответствии с современными требованиями и специализацией курсов для более полного удовлетворения запросов выпускающих кафедр.

Кафедра на протяжении 17 лет была опорной кафедрой Харьковского региона по ТОЭ. На кафедре проводятся студенческие олимпиады и подготовка команды НТУ "ХПИ" для участия во Всеукраинских олимпиадах, где наши студенты неоднократно становились победителями и призерами в личном и командном зачетах.

В течение всей истории кафедры ТОЭ ее сотрудниками активно выполняется научно-исследовательская работа. Среди современных научных достижений кафедры создание систем питания и управления для автономных объектов. В результате этих работ были созданы источники питания для плазменно-ионных двигателей космических аппаратов. Многие научные результаты, полученные на кафедре, были внедрены в производство и дали существенный экономический эффект.

На протяжении многих лет на кафедре осуществлялись исследования электромагнитных и тепловых полей, а также электрических цепей для систем диагностики и автоматического управления дизель-электрических агрегатов. Работы проводились по планам отраслевых министерств (базовое предприятие – ПО «Завод им. Малышева»). По результатам данных исследований учеными кафедры был сделан ряд изобретений. Данная

тематика нашла отражение в докторских диссертациях, подготовленных профессорами В. М. Боевым и А. Н. Борисенко.

В настоящее время кафедра выполняет исследования в области электромагнитной совместимости и стойкости технических объектов к воздействию электромагнитных полей естественного и искусственного происхождения. Наши сотрудники проводят модернизацию мегавольтного генератора импульсных напряжений и измерительного комплекса высоковольтного зала НТУ "ХПИ", которая позволит проводить в нашем университете разработку и испытания средств молниезащиты промышленных объектов.

Ведутся работы по созданию испытательного оборудования для сертификации токопроводов атомных реакторов в интересах энергетики Украины. Разрабатываемое оборудование должно обеспечить длительное протекание мощного испытательного тока по так называемым „проходкам” – герметичным вводам в активную зону реактора.

В настоящее время начаты работы по созданию высоковольтного генератора импульсов напряжения, предназначенного для плазмохимической очистки воздуха от промышленных газов, для КИММ – Корейского Института Машиностроения и Материаловедения (Южная Корея).

Одним из общепризнанных наиболее перспективных направлений развития мощной импульсной техники в настоящее время является создание полностью твердотельных высоковольтных приборов, не имеющих в своем составе плазменных коммутаторов. В связи с этим на кафедре ТОЭ проводятся экспериментальные и теоретические исследования формирования ударных электромагнитных волн, а также их распространения в слоистых сегнето-магнитных композитах, в нелинейных метаматериалах и других нелинейных средах.

В этом году кафедре ТОЭ исполнилось 80 лет. За эти годы наша кафедра прошла большой и славный путь, полный достижений в подготовке студентов, в развитии школы классической электротехники, в науке и в инженерной работе. Кафедра подготовила десятки тысяч высококлассных электротехников, слава которых – это достояние нашего Национального технического университета. Современная наука и техника немыслима без знания электротехники, поэтому впереди у нас необъятное поле работы. Кафедра ТОЭ востребована сегодня, и ее работа по подготовке инженеров-электротехников будет еще долгие годы нужна Украине.

Список литературы: 1. Харьковский ордена Ленина политехнический институт им. В. И. Ленина: Краткая справка. – Х. : Изд. ХГУ, 1970. – 15 с. 2. Харьковский политехнический институт. 1885–1985: история развития; отв. ред. Н. Ф. Киркач. – Х. : Вища школа, 1985. – 223 с. 3. Фонды кафедры «Теоретические основы электротехники» НТУ «ХПИ». 4. Архів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», ф. Р-1682.

Поступила в редколлегию 16.11.2011

П.А. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
А.И. КОРДЮМОВ, ст. научн. сотрудник НТУ «ХПИ»

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ КАФЕДРЫ «АВТОМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

Приведено напрям розвитку кафедри “Автоматика і управління в технічних системах”. Описані наукові напрями роботи кафедри за всю історію існування підрозділу. Представлені основні результати науково-дослідних робіт кафедри.

Приведен путь развития кафедры “Автоматика и управление в технических системах”. Описаны научные направления работы кафедры за всю историю существования подразделения. Представлены основные результаты научно-исследовательских работ кафедры.

The way of development of department of “Automatic and control in the technical systems” is discussed. Scientific work of department assignments are described in all history of existence of subdivision. The basic results of research works of department are presented.

Кафедра “Автоматика и управление в технических системах” создана в 1948 году [1] известными учёными в области электромагнитной техники, приборов и устройств автоматики профессором Вашурой Б.Ф. и доцентом Ступелем Ф.А. на базе кафедры “Электрические аппараты” и получила тогда название “Приборы автоматики и телемеханики”.

Первым заведующим кафедрой был избран кандидат технических наук, доцент Файвель Аронович Ступель [2]. Студенты электрических факультетов ХПИ знали его по работам в области электромагнитной техники. Для курсовых и дипломных проектов его учебники были настольными книгами. Первые учебники он написал еще до войны, а нынешние преподаватели используют их до сих пор. Увлечением Ф.А.Ступеля была булева алгебра и релейно-контактная логика. В те годы кибернетику считали лженаукой, а Файвель Аронович дома, вечерами разрабатывал методы построения логических схем. Когда Советский Союз бросился догонять уходящий поезд кибернетического прогресса, Ф.А. Ступель был лучше других готов к участию в этой погоне. Интересные лекции и написанные учебники сделали его живой легендой. Для вновь созданной кафедры надо было предугадать перечень учебных дисциплин, знание которых в будущем позволят выпускникам решать научные и технические проблемы в области автоматики. Время доказало правильность решений, принятых Ф.А. Ступелем.

Вторым заведующим кафедрой стал в 1951 году Олег Николаевич Суетин [3], прекрасный педагог, обаятельный собеседник, мудрый руководитель и талантливый организатор, который помимо руководства кафедрой был еще и деканом крупнейшего в ту пору электроэнергетического факультета.

Развитие технического прогресса идет объективно, независимо от правых, или левых взглядов руководителей государства. Промышленности остро тре-

бовались инженеры в области автоматики, а мудрый руководитель кафедры стал находкой для быстро возрастающих требований промышленности. При нем кафедра стала одной из ведущих в институте и продолжала стремительно развиваться. Был период, когда на кафедре обучалось около 700 студентов дневной и вечерней форм обучения, в том числе свыше сотни иностранцев из Китая, Вьетнама, Чехословакии, Польши, ГДР, Болгарии, Румынии и др. Иностранная речь быстро стала привычным элементом жизни кафедры. Тогда же закладывались основы научных направлений. Видимо не случайно из числа студентов, обучавшихся в ту пору на кафедре, стали докторами наук, профессорами А. Божко, Г. Володченко, А. Горяшко, О. Горошин, В. Горюшко, Л. Дербунович, К. Диденко, Г. Загарий, И. Кнеллер, М. Любчик, В. Прокофьев, Ю. Раисов, А. Чинков, М. Ястребенецкий, свыше ста – кандидатами наук, большое число руководителями и ведущими специалистами НИИ, организаций и предприятий. Все они с благодарностью вспоминают О.Н. Суетина, считают себя его учениками и глубоко признательны ему за науку мыслить и общаться.

Третьим заведующим кафедрой в 1975 году стал доктор технических наук, доцент Виктор Георгиевич Воронов [4], выпускник электроэнергетического факультета ХПИ. Отработав по направлению после института, набравшись опыта в научно-исследовательских организациях, Виктор Георгиевич вернулся в свою альма матер. Ностальгия это не пустой звук и не выдумки поэтов. К тому времени коллектив кафедры был уже достаточно большим, со сложившимися традициями и взаимоотношениями. Не все сразу складывалось гладко, однако здесь проявилась дипломатичность заведующего. Он сохранил на кафедре лучшее, что было до него, ничего при этом не разрушая. Кафедра развивалась, научные работы, как теоретические, так и прикладные совершенствовались, значительно увеличилось количество защит кандидатских и докторских диссертаций. Среди сотрудников имелись непримиримые мнения о целесообразности концентрации усилий на одном научном направлении, о доле личного авторства в найденном решении во время коллективного обсуждения, о переходе на единую элементную базу. При полярных мнениях сотрудников, благодаря тактичности Виктора Георгиевича, находились разумные решения, удовлетворяющие всех спорщиков.

В эти годы на кафедре резко возросла активность научного поиска, изобретательская деятельность. Своим представительным видом, абсолютным отсутствием сомнений в возможности нахождения решения актуальной задачи, В.Г. Воронов создавал обстановку уверенности в собственных силах, при которой иного подхода, как посмотреть на работы других и сделать лучше, просто не было. Технические решения на уровне изобретений стали обыденным явлением, нормой жизни сотрудников кафедры.

Такие его черты как порядочность и благородство, коммуникабельность и высокий профессионализм, тактичность и уважение к людям послужили залогом того, что почти 25 лет, в течение которых он руководил кафедрой, в коллективе сложилась обстановка уважения и взаимопонимания.

Четвертый заведующий кафедрой – Петр Алексеевич Качанов [5], ученик

профессора В.Г. Воронова. Доктор технических наук, профессор, Лауреат Государственной премии, П.А. Качанов возглавил кафедру в самые трудные для страны годы, и сумел сделать главное – сохранить преподавательские кадры и традиции научно-исследовательской части кафедры.

Этапы развития кафедры ветераны именуют по фамилиям заведующих того времени: при Ступеле, при Суетине, при Воронове и т.д. Пользуясь этой терминологией, можно сказать, что резкое увеличение объемов научных работ началось еще при Суетине, но наибольшего подъема достигло при Воронове. Состав кафедры 1985 года, года 100-летия ХПИ, фотографию которого можно видеть на стенде «Преподаватели кафедры», ежегодно выполнял объем научных исследований, который превышал 1 млн. советских рублей в год. По итогам соцсоревнования времен СССР кафедра была ведущей по числу изобретений (свыше 500), диссертациям, учебным пособиям, экономическому эффекту, победам студентов на всесоюзных олимпиадах. В учебном ВУЗе на первом плане всегда остается учебный процесс. Преподаватели совмещали учебную работу с наукой и увлекали студентов жадой поиска решений тех задач, которых до них еще никто не решал. Преподаватели кафедры и сейчас умеют заразить научным азартом студентов. Желая быть зараженными, в начале большого перерыва влетают в лабораторию, включают паяльник, а лишь затем говорят: “Здравствуйте”. Не думай о секундах свысока. Такими были Витя Доценко, Миша Холодов, Виталик Якименко, Сережа Тарасов, Володя Левантовский. Это специалисты от бога, уважаемые люди, которых сейчас уже зовут по имени и отчеству. Азартно учились Леня Дербунович и Юра Раисов, профессора нашей кафедры. С блеском переходил с курса на курс Леня Любчик, яростно перемалывая всякие непонятности, сейчас он уже Леонид Михайлович, доктор наук, профессор, лауреат Государственной премии, заведующий кафедрой. Такие студенты были, есть сейчас и будут обязательно. Традиции долго формируются, но очень живучи.

Можно долго спорить, хорошо это или не очень, но научные работы кафедры не были сконцентрированы в одном направлении, а разделились на несколько мощных ветвей, каждая из которых настолько хороша, что имела право на самостоятельное существование. Итак, научные направления кафедры.

УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОМАСООБМЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ. В мире до сих пор изучают процесс сушки древесины. Какие изменения происходят в ней? Почему в древних храмах гвозди истлели, а дерево дожило до наших дней? На эти вопросы искали и частично находили ответы команда профессора Виктора Георгиевича Воронова. Разработка оборудования для исследования, моделирования и управления тепловыми процессами являются сферой деятельности этой группы научных сотрудников и преподавателей. Интерес к этим работам проявляли самые различные ведомства. Оборонщикам равномерность теплового поля внутри блока управления стратегической ракетой требовалась потому, что каждая десятая доля градуса отклонения температуры приводили к недолету или перелету ракеты на километры. Институту монокристаллов требовалось обеспечить равномерную вытяжку монокристалла из жидкой среды со скоростью 15

сантиметров в месяц, сохраняя при этом точно постоянную температуру в жидкой среде 1200 градусов. Институт монокристаллов заказывал такое оборудование и получал его.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ. Авиационная промышленность отличается тем, что требует изготовления множества типов деталей необычайно сложной формы в небольших количествах. Поэтому там острее всего ощущалась потребность в быстропрограммируемых станках с числовым управлением. Лаборатория профессора Юрия Раисова занималась их разработкой и изготовлением. Заказчиками выступали все авиазаводы Советского Союза из Воронежа, Киева, Москвы, Новосибирска, Харькова, Ташкента и других городов. Самым сложным перед появлением в небе нового самолета является процесс подготовки производства, когда корректируются размеры и формы деталей. Процесс этот трудоемкий и длительный, т.к. число программ на каждый самолет достигает 50 тысяч единиц. Сократить сроки создания новых типов самолетов на 2-3 года помогли разработки этой лаборатории, благодаря которой в СССР своевременно был освоен выпуск самолетов АН-22 «Антей», АН-124 «Руслан», АН-225 «Мрия», ТУ-204 и ряд боевых машин.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Эти отрасли нуждаются в автоматизации не меньше, чем авиационная. Прокатный стан и бумагоделательная машина – это агрегаты размером с многоэтажный дом, для нормальной работы которых требуется согласованная работа множества электродвигателей, зависящая от результатов измерения различных параметров выходной продукции: толщины, площади, плотности и др. Оборудование для управления такими мощными агрегатами разрабатывала и изготавливала лаборатория Бориса Фурмана. Сотрудники лаборатории Б. Фурмана не хуже раисовцев изучали географию Советского Союза в служебных командировках от Прибалтики до таежных районов Сибири.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА. Научная лаборатория профессора Леонида Дербуновича свои взоры направила на создание методов и технических средств для обнаружения неисправностей и локализации их места. Она разрабатывала и изготавливала оборудование для регистрации факта исправности цифровых устройств, проверки работоспособности программируемых контроллеров, устройств оперативной памяти. Сотрудники этой лаборатории разрабатывали макеты стендового оборудования, а после них в КБ "Калькулятор" проектировали серийное оборудование для проверки накопителей на гибких магнитных дисках. Лаборатория также удовлетворяла потребности завода им. Малышева в измерителях крутящего момента дизельных двигателей, измерителях степени запыленности всасываемого двигателем воздуха. Работы выполнялись по заказам предприятий Москвы, Запорожья, Харькова, НИИ Зеленограда и других городов.

ТРЕНАЖЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ. Идеологом и научным руководителем этого направления является профессор П.А. Качанов. В последние годы это направление стало головным в научной деятельности кафедры. Тренажеры яв-

ляют собой внутреннее оборудование танка, со всеми приборами, креслами экипажа и всем другим, что установлено на подвижной платформе. Тренажер имитирует звук выстрела, шум двигателя, то есть создает иллюзию нахождения в середине боевого танка. Тренажер выполняет движения, отвечающие маневрам на местности, которая набегаёт на механика-водителя на экране компьютерного монитора. Во время съезда в глубокий яр платформа сначала совершит наклон круто вперед, а во время выезда отбросит экипаж на спинки кресел. Грубая ошибка во время начала движения окончится толчком и мертвой тишиной заглушённого двигателя. Рельеф местности, где проводят тренинг заказывает покупатель тренажера. Сириец закажет пустыню с барханами, пакистанец – горный пейзаж, а украинцу нет ничего лучше родимых пейзажей. Движение по каждому из этих рельефов отрабатывается платформой тренажера. Тренажерные комплексы отмечены Государственной премией Украины в области науки и техники. Государственной премии удостоен и дизель-поезд, управление двигателями которого разработала лаборатория В.М. Лещенко. По этим основным научным направлениям на кафедре подготовлено семь докторов и более сорока кандидатов наук, сотрудниками кафедры сделано свыше 500 изобретений. Научные работы публикуются в вестниках НТУ «ХПИ», трудах конференции «Микрокад», научно-технических конференций по автоматическому управлению, журналах «Автоматика и телемеханика», «Радиотехника и электроника», «Известия вузов», «Электромеханика», «Украинский радиологический журнал», «Электронное моделирование».

Коллектив кафедры принимает активное участие в формировании международных связей института. Преподаватели кафедры проходили научную стажировку во всемирно-известных научных и учебных центрах: Оксфордский университет (Англия) – проф. Дербунович Л.В., Университет Осло (Норвегия) – профессор Качанов П.А. В составе группы специалистов НТУ «ХПИ» доц. Гунбин М.В. оказывал помощь в организации научно-исследовательской базы Ханойскому политехническому институту (Вьетнам). Подготовлены министры высшего образования, магистры и кандидаты наук для Польши, Болгарии, Венгрии, Германии, Вьетнама, Китая, Индии, Афганистана, Марокко, Колумбии, Конго, Сирии, Кубы, Перу. Поддерживаются тесные связи с Высшей технической школой (Брно), Делийским технологическим институтом.

Кафедра успешно ведёт подготовку специалистов, пользующихся спросом на рынке труда. Подготовка в области аппаратуры позволяет работать на самых современных предприятиях, а знание программного обеспечения делает наших выпускников востребованными в финансовых и банковских структурах, в органах государственного управления.

Список литературы: 1. Приказ МВО СССР № 35 ЭН от 25 мая 1948 года. 2. Приказ по Главному управлению энергетических и электротехнических вузов МВО СССР № 160 от 2 сентября 1948 года. 3. Приказ по ХПИ № 386-II от 14 августа 1951 года. 4. Приказ по ХПИ № 11-II от 4 января 1975 года. 5. Приказ по ХПИ № 594-II от 8 апреля 2002 года.

Поступила в редколлегию 10.10.2011

С. І. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХП»,
О. Є. ТВЕРИТНИКОВА, канд. істор. наук, доцент НТУ «ХП»

КАФЕДРА «ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ». ІСТОРИЧНИЙ НАРИС

У статті розглянуті етапи становлення і розвитку кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем. Освітлена наукова, педагогічна діяльність співробітників кафедри.

В статье рассмотрены этапы становления и развития кафедры информационно-измерительных технологий и систем. Освещена научная, педагогическая деятельность сотрудников кафедры.

The paper considers the establishment and development of the department of information and measurement technologies and systems. Covered scientific, pedagogical activities of staff of the department.

Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології і системи» (ІВТС) була заснована у червні 1961 р. Витоки наукової школи кафедри беруть початок з електроенергетичного факультету Харківського технологічного інституту, а саме кафедр «Теоретичні основи електротехніки» і «Автоматика і телемеханіка». Перший випуск інженерів зі спеціалізації «Електровимірювальна техніка» відбувся в 1954 р. (група Е-396). Впродовж 1961–1974 рр. кафедру «Електровимірювальна техніка» очолював перший завідувач – Олександр Васильович Федоров, відомий фахівець у галузі електромагнітних вимірювань, випускник Харківського електротехнічного інституту. Серед перших викладачів кафедри були В. І. Дякін, К. С. Полулях і О.П. Копняєва – дочка видатного вченого-електротехніка П. П. Копняєва.

Слід відзначити вагомий внесок у створенні наукової школи кафедри ІВТС к.т.н., професора ВАК К. С. Полуляха. Він навчався в Ленінградському електротехнічному інституті, де за захистив кандидатську дисертацію. Його вчителями були відомі вчені О. В. Фремке, М. М. Разумовський, М. П. Богородицький. З 1953 р. К. С. Полулях розпочав роботу в ХПІ, де став ініціатором створення навчальної лабораторії для забезпечення дисципліни лабораторним практикумом. В лабораторії досліджувались гетеродинні і конденсаторні частотоміри, вимірювачі ємності та індуктивності, вимірювальні генератори, осцилографи тощо. Це сприяло розвитку напряму досліджень електронних вимірювальних приладів на кафедрі. Накопичений матеріал було узагальнено К. С. Полуляхом у підручник «Електронні вимірювальні прилади» (1963 р.), який отримав гриф МВ ССО УРСР і був рекомендований для студентів ВНЗ УРСР. У 1966 р. було видано підручник К. С. Полуляха «Электронные измерительные приборы (аналоговые и цифровые)». Це був перший підручник у СРСР по цим курсам. Отримав гриф МВ ССО УРСР і був рекомендований як навчальний підручник для студентів спеціальності «Інформаційно-вимірювальна техніка».

Особливої уваги заслуговує праця К. С. Полуляха присвячена створенню узагальненої теорії автогенераторних (резонансних) вимірювальних приладів. Ним була запропонована теорія резонансних вимірювальних приладів, методика їх розрахунку, основи проектування та аналіз похибок. У 1965 р. К. С. Полулях отримав авторське свідоцтво на підсилювач постійного струму. За розробкою було отримано 3 авторських свідоцтва. У роботі також приймали участь П. І. Татарський, Є. М. Гончаров, Ю. І. Роздовський, В. І. Піскляров, Л. Г. Темник.

У 1970 р., відповідно до вимог Міністерства освіти СРСР, змінилась назва спеціальності на «Інформаційно-вимірювальна техніка». Змінилась, відповідно, назва кафедри. Чисельність студентів денного і вечірнього навчання збільшилось до 3-х груп. Це було зумовлено зростанням попиту на фахівців за вказаною спеціальністю.

Значний етап у розвитку наукових досліджень кафедри пов'язаний з викладацькою та науковою роботою В. І. Дякіна. Він вихованець ХПІ, став одним із засновників кафедри. Приймав активну участь у розробці навчальних планів і програм кафедри. Більше 30 років виконував обов'язки заступника завідувача кафедри, був членом вченої ради факультету. Розробив навчальні курси «Основи метрології та вимірювальної техніки», «Аналогові вимірювальні прилади». Автор 4-х навчальних посібників з грифом Міносвіти України, один із яких був відзначений другою премією МОН України. Цей збірник практичних завдань і на цей час вважається кращим на Україні. Під його керівництвом впродовж 1960–1970 рр. викладачі кафедри прийняли участь у дослідницьких роботах зі створення вимірювальних приладів і систем дослідження кавітаційних процесів і нестационарних режимів гідротурбін. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення конструювання та експлуатації гідротурбін.

У 1972 р. на кафедрі під керівництвом Є. Г. Шрамкова проходить засідання Науково-методичної Комісії СРСР по електровимірювальній техніці, до складу якої входять О. В. Фремке, М. П. Цапенко, В. М. Шляндін та інші видатні вчені. Це визнання передових позицій кафедри ІВТ.

У 1974 р. після О. В. Федорова на посаду завідувача кафедри був призначений К. С. Полулях. В цей час набуває розвитку науковий напрям започаткований вченим. Були розроблені цифровий мікрометр, прилад активного контролю розмірів деталей у процесі їх обробки, автомат для сортування кілець підшипників, схеми управління сортувального автомата. Прилади неодноразово демонструвались і відзначались на ВДНГ СРСР бронзовою медаллю. По результатах роботи захищена кандидатська дисертація Є. М. Гончарова Одночасно на кафедрі проводив розробку автомата по відбраковці конденсаторів Юрген Клетцнер (НДР). За результатами роботи ним була захищена дисертаційна кандидатська робота. Почалось багаторічне співробітництво кафедри з заводом ім. Малишева. Було укладено договір на створенню апаратури для стендових випробувань вискоєфективних теплових двигунів та її серійного

виробництва. Під керівництвом К. С. Полуляха, працювали М. В. Кривогін, Л. О. Медведєва, І. І. Тополов та ін.

Наступним етапом наукових робіт кафедри став розвиток теорії бігенераторних схем. На цій основі були розроблені аналого-цифрові перетворювачі для стендових випробувань на заводі Малишева та проведені дослідження стендових випробувань турбін для атомних електричних станцій Харківського турбінного заводу. Термін бігенераторні вимірювальні прилади вперше уведений у роботах К. С. Полуляха., В. К. Гусельникова «Разработка и исследование аналого-цифровых преобразователей неэлектрических величин на основе бігенераторных схем». Усього проф. Полулях К.С. підготував 7 кандидатів технічних наук, видав 2 підручника, 2 монографії, отримав 25 авторських свідоцтв на винаходи.

У 1975 р. кафедру очолив доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України Сергій Миколайович Терент'єв. Він закінчив Військово-повітряну академію імені проф. Жуковського, проходив службу у Харківському військовому інженерному училищі на посадах старшого викладача, начальника кафедри, заступника начальника училища з наукової та навчальної роботи. У 1966 р. С. М. Терент'єв захистив докторську дисертацію. Основні наукові результати вченого: розробка теорії роботи генераторів дециметрових радіохвиль використав гофровані резистори; дослідження одноконтурних схем автогенераторів дециметрових хвиль; розробка конструкції та впровадження автогенераторів метрових радіохвиль з коаксіальними резонаторами, методів зворотного руйнування розбірливості речових сигналів, методів оптимального кодування при цифровій передачі безперервних сигналів тощо. Ряд наукових розробок, які виконані під його керівництвом впроваджені у військову та космічну техніку.

Призначення проф. С. М. Терент'єва завідуючим докорінно змінило наукові та навчальні напрями розвитку кафедри. Він почав запроваджувати статистичні методи прийому і обробки сигналів, підготував курси «Основи передачі інформації», «Інформаційно-вимірювальні системи», «Теорія інформації» тощо. Під його керівництвом розроблені нові лабораторні практикуми: «Дослідження параметрів каналів зв'язку», «Статистична обробка сигналів», «Оптимальні кодери і декодери сигналів» (С. І. Кондрашов., П. Ф. Щапов). Він автор більше 200 наукових праць, 13 монографій, підручників, 20 авторських свідоцтв на винаходи.

На кафедрі С. М. Терент'єв створив наукову школу. Серед учнів С. М. Терент'єва 5 докторів наук, 30 кандидатів наук (з них 5 у закордонних країнах). Під його керівництвом захистили кандидатські дисертації С. І. Кондрашов, О. П. Давиденко. При його сприянні захистили докторські дисертації: В. П. Себко, О. І. Овчаренко, К. І. Діденко. та багато інших науковців, які спілкувались з С. М. Терент'євим, як заступником голови спеціалізованої вченої ради ХПІ. До 100-річчя заснування ХПІ на кафедрі вперше в СРСР був створений клас мікропроцесорних промислових систем на базі за-

собів МікроДАТ. Кафедра встановила тісні зв'язки з Ханойським політехнічним інститутом (С. І. Кондрашов) і створила спільну Україно-В'єтнамську лабораторію, якою керували С. М. Терентьев і В. П. Себко.

Розробка, теоретичні і практичні результати розвитку наукового напряму неруйнівного контролю газового обладнання привели до широкого впровадження результатів робіт у навчальний процес, що, в свою чергу, привело до створення на базі кафедри нової кафедри «Прилади та методи неруйнівного контролю», яка відокремилась виключно з числа викладачів кафедри ІВТ та її випускників.

Протягом 1984–1989 рр. кафедра прийняла участь у реалізації комплексної програми Постанови Кабінету міністрів СРСР і Академії наук СРСР для НПО «Энергия». Був створений науково-дослідницький центр (керівник С. М. Терентьев, зав. сектором О. П. Давиденко). Робота виконувалась спільно з кафедрою фізики металів та напівпровідників і кафедрою опору матеріалів ХПІ. Комплекс робіт мав назву «Мікродоформатор». За розробку нової техніки О. П. Давиденко був нагороджений пам'ятною медаллю С. П. Корольова. За результатами роботи було отримано 2 авторських свідоцтва СРСР.

Під керівництвом С. М. Терентьева і Л. П. Ермоловської. проводилась велика навчальна і наукова робота зі студентами іноземних країн. За ці роки кафедра підготувала понад 200 фахівців для 11 країн світу: Німеччині, Польщі, Угорщини, Болгарії, Чехословаччини, Монголії, Китаю тощо.

Впродовж 1980–2005 рр. під керівництвом заслуженого діяча науки і техніки України, заслуженого винахідника України, доктора технічних наук, професора В.М. Чинкова на кафедрі був проведений комплекс робіт для ВАТ «МОТОР-СІЧ». В дослідженнях брали участь В. О. Тищенко, В. М. Удовиченко, О. П. Давиденко, О. Л. Харченко, В. В. Лисенко. Мета і задачі досліджень визначались необхідністю розробки і вдосконалення сучасних систем контролю та технічної діагностики авіаційних двигунів та газотурбінних двигунів для пересувних електростанцій та газоперекачувальних станцій, які випускають ВАТ «МОТОР-СІЧ». За час співпраці були розроблені та впроваджені автоматизована система обробки вимірювальної інформації, локальна система спектральних вимірювань параметрів вібрації, інформаційно-вимірювальна система, яка дозволила забезпечити вимірювання більш 200 параметрів двигунів; автоматизована система для стендових випробувань двигунів АССОД-30, програмне забезпечення автоматизованих систем обробки даних АССОД-436. По результатам цих робіт були захищені кандидатські дисертації В. О. Тищенко і О. Л. Харченко.

Вагомий внесок у розвиток наукової школи кафедри зробив проф. О. І. Овчаренко. Під керівництвом проф. Овчаренко О.І. проведено ряд робіт на підприємстві «Інженерна група ТФК» де була створена філія кафедри. Під його керівництвом захистив кандидатську дисертацію Р. П. Мігушенко. До наукових тем, у яких працював Р. П. Мігушенко можна віднести дослідження

теплових і вібраційних процесів у промислових об'єктах з розподіленими параметрами, дослідження характеристик вимірювальних перетворювачів температури, вологості сипких матеріалів, експрес-контролю масличності зернових культур тощо. На підприємстві «Екструдер» було виготовлено більше 1000 одиниць обладнання які мали широку географію від Польщі до Таджикистану та від Карелії до Сирії.

Протягом 1998–2001 рр. кафедру очолював випускник кафедри «Автоматика і телемеханіка» Костянтин Іванович Діденко. Він після закінчення ХПІ 1952 р. працював на підприємстві СКБ САУ, де пройшов творчий шлях від інженера конструкторського бюро до Генерального директора науково-виробничого об'єднання САУ. У 1982 р. і 1998 р. – Лауреат Премії Ради Міністрів СРСР. У 1998 р. Лауреат Премії України у галузі науки і техніки. Автор більше 110 наукових праць, більше 140 авторських свідоцтв на винаходи СРСР і України. За участь у створенні АСУ ТП водопостачання м. Харкова (на базі засобів «МікроДАТ») автор отримав Державну премію УРСР.

К. І. Діденко розробив нові навчальні курси «Вступ в теорію систем», «Основи системотехнічного проектування систем», «Метод динамічної ідентифікації систем» загальним обсягом більше 190 год. Він сформував науковий напрямок «Керування динамічними системами в умовах невизначеності з урахуванням можливості їх динамічного самоконтролю». Це дозволило значно розширити і розвинути методи і системи бездемонтажного тестового контролю вимірюваних систем на основі теорії нечітких множин. Керівництво кафедрою К. І. Діденко значно розширило практичну тематику студентських науково-дослідницьких робіт, дипломних робіт. Усі його дипломні проекти мали глибоку наукову спрямованість та практичну цінність.

У 2001 р. кафедру очолив С.І. Кондрашов. Він закінчив з відзнакою ХПІ. Під керівництвом Терентьєва С.М. захистив кандидатську дисертацію. Займався розробкою лабораторного практикуму з курсу «Основи передачі інформації», «Інформаційно-вимірювальні комплекси», «Основи метрологічного забезпечення засобів вимірювання», «Інформаційно-вимірювальні системи», «Контроль динамічних систем». Протягом 1981–2000 рр. виконував обов'язки заступника проректора з наукової роботи. Під його керівництвом була створена служба метрології і стандартизації ХПІ, яка у 1985–1995 рр. мала у своєму складі до 30 співробітників, виконував функції головного метролога НТУ «ХПІ», організував взаємодію служби ХПІ з органами Держспоживстандарту України, пізніше відкрив філію кафедри на ДП «Харківстандартметрологія»

З 1980 р. науковий напрям робіт С. І. Кондрашова присвячений проблемі створення вбудованих засобів контролю метрологічних характеристик засобів вимірювання і каналів вимірювальних систем. Виконання комплексу госпдоговірних робіт с НВО «САУ» дозволило створити і впровадити мікропроцесорний комплекс для дослідження контролю точнісних характеристик мікропроцесорних модулів для автоматизації їх приймально-здаточних випробувань та

дослідженню у процесі їх розробки. Це дозволило впровадити на НВО «САУ» автоматизований комплекс випробувань і у сотні раз скоротити час випробувань, підвищити їх точність і вірогідність.

По результатам робіт Кондрашов С.І. захистив дисертацію доктора технічних наук у 2004 р. Проф. Кондрашов С.І. є провідним відомим фахівцем у галузі тестових методів і систем контролю. Він автор більше 250 робіт, 15 патентів і авторських свідоцтв на винаходи. С. І. Кондрашов обраний академіком Української технологічної академії (УТА, м. Київ).

У 2009 році захистив докторську дисертацію П. Ф. Щапов «Исследование и разработка байесовского классификатора в условиях априорной неопределенности» науковим консультантом у якого був С. І. Кондрашов. Професор С. І. Кондрашов підготував 5 кандидатів наук, зокрема В. М. Балєв, Л. О. Нікітіна, І. В. Григоренко, Т. В. Чуніхіна.

Сьогодні кафедра ІВТС має 2 філії кафедри на виробництві, активно співпрацює з Державним підприємством «Харківстандартметрологія» особливо у навчальній та видавничій діяльності.

Навчальний процес кафедри розвивався таким чином: з 1990 р. кафедра веде підготовку студентів вже трьох груп денного, а також одна вечірнього та одна заочного навчання. В цьому ж році введена спеціалізація «Автоматизація наукових досліджень». У 1994 р. замість неї, за ініціативою С. І. Кондрашова, відкривається нова спеціальність «Метрологія, стандартизація і сертифікація». З 1996 р. кафедра веде підготовку бакалаврів, спеціалістів і магістрів за спеціальностями: «Інформаційно-вимірювальна техніка», «Метрологія, стандартизація і сертифікація».

У зв'язку із затвердженням нового переліку напрямів, за яким здійснюється підготовка бакалаврів, спеціалістів і магістрів кафедра розпочала підготовку за напрямом «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології» за спеціальностями: «Метрологія та вимірювальна техніка» і «Інформаційно-вимірювальні системи».

У 2007 р. кафедра «Вимірювально-інформаційна техніка» перейменована у кафедру «Інформаційно-вимірювальні технології і системи». Це було зумовлено необхідністю розширення впровадження інформаційних технологій у вимірювальні системи, прилади та вирішення задач їх метрологічного забезпечення. Основи теорії інформаційних технологій вимірювальних систем були закладені у навчальний процес і наукові дослідження саме проф. С. М. Терентьєвим. Далі цю роботу продовжили професори К. І. Діденко і С. І. Кондрашов.

Список литературы: 1. Харьковский ордена Ленина политехнический институт им. В. И. Ленина: Краткая справка. – Х. : Изд. ХГУ, 1970. – 15 с. 2. Харьковский политехнический институт. 1885–1985: история развития; отв. ред. Н. Ф. Киркач. – Х. : Вища школа, 1985. – 223 с. 3. Фонды кафедры «Информационно-измерительные технологии и системы» НТУ «ХПИ». 4. Архів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», ф. Р-1682.

Надійшла до редколегії 21.10.2011

Е.П. ГУРТОВАЯ, доцент НТУ «ХПИ»,
Ю.И. БУТРИМ, инженер НТУ «ХПИ»,
Н.В. ТРУБЧАНОВА, инженер НТУ «ХПИ»

**КАФЕДРА «РАДИОЭЛЕКТРОНИКА» НТУ «ХПИ».
ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ**

У статті розглянуто історичні витoki наукової школи кафедри «Радіoeлектроніка». Показано внесок видатних вчених у розвиток наукових досліджень в галузі радіофізики в Харківському політехнічному інституті.

В статье рассмотрены исторические истоки научной школы кафедры «Радиоэлектроника». Показан вклад выдающихся ученых в развитие научных исследований в отрасли радиофизики в Харьковском политехническом институте.

The article is devoted to the historical beginning of the scientific school department "Radioelectronics". Displaying vydayuschyhsya contribution to the development of scholars in the field of research nauchny'h radyofyzyky in Kharkov Polytechnic ynstitute.

В конце 1940-х – начале 1950-х гг. стремительно начали развиваться радиолокация, радионавигация и другие отрасли науки, связанные с радиофизикой, радиотехникой и радиоэлектроникой, что было вызвано необходимостью укрепления обороны страны, развитием радиоэлектронной промышленности и началом космических исследований.

К концу 60-х годов прошлого века электроника в виде приборов и методов стала быстрыми шагами внедряться в самые различные области науки и техники, обеспечивая повышение эффективности производства и научных исследований. По инициативе ректора профессора М.Ф. Семко в 1971 году в Харьковском политехническом институте была организована кафедра «Радиоэлектроника», задачей которой было обеспечить преподавание основ электроники студентам факультетов неэлектротехнического профиля: машиностроительных, химических и инженернофизического, а также радиотехнических дисциплин на факультете «Автоматика и приборостроение», в состав которого и вошла кафедра. Заведующим кафедры «Радиоэлектроника» был назначен доцент кандидат физико-математических наук В.И. Таран, руководивший до этого научно-исследовательской лабораторией, занимавшаяся изучением ионосферы – НИЛ РЭ. Сотрудниками кафедры стали доценты кандидаты технических наук В. А. Бубнов, Л. Г. Писаревский, И. М. Гук, старшие преподаватели А. М. Капустян, Ю. И. Бутрим, Б. Д. Куприн, ассистенты Е. М. Душина, В. Д. Приходько, Ю. В. Козин, Н. Ф. Овсянников и инженер по учебному процессу С. С. Сухопаров.

Коллектив кафедры «Радиоэлектроника» в короткие сроки провел большую организационную и методическую работу по подготовке учебного

процесса в новых условиях: за факультетами и дисциплинами закрепили преподавателей, разработали и согласовали с факультетами рабочие планы, подготовили лекционные курсы, обеспечили методически и материально лабораторный практикум. Особенность постановки лабораторного практикума состояла в том, что, на основании опыта радиотехнического факультета ХПИ, был использован фронтальный метод проведения, когда, прослушав раздел курса, вся группа на нескольких одинаковых макетах отрабатывала одну и ту же работу, посвященную этому разделу. Необходимо отметить большую помощь оказанную кафедре научно-исследовательской лабораторией радиоэлектроники (НИЛ РЭ), передавшей в учебный процесс достаточное количество современной измерительной аппаратуры и материалов. Впоследствии содружество кафедры и НИЛ РЭ (преобразованной впоследствии в НИЛИ, ОКБ РЭ и, наконец, в Институт ионосферы) продолжало успешно развиваться, что, в конце концов, привело к их организационному объединению в учебно-научный комплекс «Ионосфера».

В связи с потребностью народного хозяйства в 1989 г. кафедра изменила статус общетехнической на профилирующую, приступив к набору, подготовке и выпуску одной группы инженеров-радиофизиков. Это вновь потребовало существенной перестройки работы, вызванной значительным увеличением количества курсов, их фундаментальностью и объемом, значительным усложнением лабораторного практикума, введением новых видов учебного процесса, в том числе производственных практик, курсового и дипломного проектирования, организации выпуска бакалавров, специалистов и магистров.

Большое внимание кафедра уделила развитию практических навыков будущих инженеров. Методику проведения этого вида занятий, методические указания к ним, стандартные макетницы и оборудование рабочих мест для сборки схем и их исследования подготовили доц. Бубнов В. А., ст.пр. Бутрим Ю. И., инж. Гуртовая Е. П., инж. Авдеева Г. В., инж. Соколова И. В.

С изменением статуса кафедры увеличился штат педагогического и учебно-вспомогательного персонала. Большую роль в перестройке учебного процесса сыграл учебно-научный комплекс «Ионосфера», тесно связавший учебный процесс с научно-исследовательской работой. Привлечение в учебный процесс научных кадров Института ионосферы, повышение квалификации преподавателей путем стажировки в этом институте, использование в практической работе студентов уникального исследовательского комплекса Ионосферной обсерватории в г. Змиеве, разработка в дипломных проектах вопросов, связанных с научной тематикой института, позволили существенно повысить уровень подготовки выпускников кафедры, первый выпуск которых состоялся в 1994. г.

В 2008 г. кафедру возглавил профессор д.т.н. И.Ф. Домнин.

В последние годы на кафедре уделяется большое внимание молодым ученым, аспирантам, подготовке магистров по специальности «Радиофизика

и электроника». Лучшие выпускники кафедры «Радиоэлектроника» приглашаются на работу в Институт ионосферы и в дальнейшем обучаются в аспирантуре в НТУ «ХПИ».

В 2009 г. кафедра приступила к подготовке инженеров-системотехников по направлению подготовки «Компьютерная инженерия» по специальности «Специализированные компьютерные системы» на факультете «Автоматика и приборостроение», а в 2010 г. – к подготовке специалистов по этой же специальности на немецком техническом факультете.

За годы работы в качестве профилирующей кафедра подготовила 250 инженеров-радиофизиков, в том числе 30 магистров, из которых 20 были оставлены в аспирантуре, на преподавательской работе кафедры или научно-исследовательской работе в Институте ионосферы, в Институте радиофизики и электроники НАН Украины.

Сотрудниками кафедры защищены 3 докторские (проф. Таран В. И., проф. Рогожкин Е. В., проф. Пуляев В. А.) и 9 кандидатских диссертации (Черняк Ю. В., Лысенко В. Н., Подьячий Ю. И., Капустян А. М., Пуляев В. А., Рогожкин Е. В., Дзюбанов Д. А., Ляшенко М. В., Пазюра С. А.), изданы несколько монографий, целый ряд учебников и учебных пособий с грифом МОН Украины.

Деятельность сотрудников кафедры отмечена почетными грамотами Харьковского горсовета и Харьковской областной администрации, грамотами и знаками Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины. В 2010г. Богомаз А.В. и Черняк Ю.В. получили премию Президента Украины для молодых ученых, Котов Д.В. получает стипендию Кабинета министров Украины для молодых ученых. В 2010 на кафедре были созданы Научно-учебный центр дистанционного радиозондирования ионосферы (ИОН) совместно с Институтом ионосферы НАН и МОНМС Украины и межведомственная научно-исследовательская лаборатория электромагнитных технологий (МНДЛ ЭЛЕКТ) совместно с Институтом радиофизики и электроники НАН Украины. Перед центром и лабораторией поставлена задача углубленной научной и научно-технической подготовки студентов, аспирантов, докторантов, повышение научной квалификации научно-педагогических и научных работников кафедры путем проведения ими совместных научных исследований и разработок и внедрения их результатов в учебный процесс.

С 2010 года кафедра «Радиоэлектроника» Национального технического университета «Харьковского политехнического института» совместно с Институтом ионосферы проводит ежегодную научную конференцию молодых ученых «Дистанционное радиозондирование ионосферы».

Тематика конференции включала следующие научные направления:

1. Радиотехнические средства и методы;
2. Обработка и представление сигналов;
3. Ионосферная информатика;

4. Физика ионосферы и моделирование процессов.

В работе конференции принимают участие молодые ученые ведущих научных центров Украины, России, Казахстана.

Ежегодно издаётся сборник «Радиофизика и ионосфера» Вестника НТУ «ХПИ» с результатами научных достижений сотрудников кафедры «Радиоэлектроника» НТУ «ХПИ» и Института ионосферы и материалами конференции молодых учёных «Дистанционное радиозондирование ионосферы».

Студенты кафедры в процессе обучения активно участвуют в олимпиадах и конкурсах студенческих дипломных работ. Так, Богомаз Александр гр. АП-32 занял первое место в конкурсе дипломных работ магистров, работа была выполнена на тему «Разработка имитатора сигналов некогерентного рассеяния», студент Скугаревский Артем гр. АП-37 занял второе место в конкурсе дипломных работ бакалавров, работа была выполнена на тему «Разработка гребенчатого цифрового фильтра», студентам группы АП-37 Пидручной Наталии и АП-30 Котову Дмитрию были назначены именные стипендии. Наши студенты участвуют в культурной деятельности факультета. Кириллюк Андрей гр. АП-31 организовывал праздники ко дню факультета и юбилею НТУ «ХПИ». Сосуля Анна гр. АП-33, Авдеева Любовь и Попелюх Анна гр. АП-38 принимают участие в вокальных номерах, являются членами кружка самодеятельности как в рамках факультета так и кафедры. Студент группы АП-36 Кабыченко Эдуард – капитан волейбольной команды факультета. Сухачева Мария (гр.АП-37)– член сборной команды института по художественной гимнастике.



Список литературы: 1. Харьковский ордена Ленина политехнический институт им. В. И. Ленина: Краткая справка. – Х. : Изд. ХГУ, 1970. – 15 с. 2. Харьковский политехнический институт. 1885–1985: история развития; отв. ред. Н. Ф. Киркач. – Х. : Вища школа, 1985. – 223 с. 3. Фонды кафедры «Радиофизика» НТУ «ХПИ». 4. Архів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», ф. Р-1682.

Поступила в редколлегию 05.10.11

Е.А. БАШКОВ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ПМИИ ДонНТУ,
М.Ш. БОЗИЕВ, науч. сотр. кафедры ЭТ ДонНТУ,
С.А. ЗОРИ, канд. техн. наук, доц. кафедры ПМИИ ДонНТУ,
С.В. КОВАЛЬСКИЙ, м.н.с. кафедры ПМИИ ДонНТУ, Донецк

ОРГАНИЗАЦИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ РАДИОЛИНИЙ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ АНАЛИЗА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАТИВНОЙ ОБСТАНОВКИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Розглянуто загальну концепцію роботи й структуру програмної підсистеми візуалізації географічного місце-розташування об'єктів-джерел радіовипромінювань у складі інформаційної системи радіолокаційних комплексів. На основі аналізу методів візуального подання інформації про положення об'єктів розроблено алгоритми розрахунку й візуалізації географічного місце-розташування об'єктів для підсистеми.

Рассмотрена общая концепция работы и структура программной подсистемы визуализации географического место-расположение объектов-источников радиоизлучений в составе информационной системы радиолокационных комплексов. На основе анализа методов визуального представления информации о положении объектов разработаны алгоритмы расчета и визуализации географического место-расположение объектов для подсистемы.

The general concept of work and structure of a program subsystem of visualization of geographic location of objects-sources of radio emissions in structure of information system of radiolocation complexes is considered. On the basis of the analysis of methods of visual representation of the information on position of objects algorithms of calculation and visualization of geographic location of objects are developed for this subsystem.

Постановка проблемы. Основной задачей специальных технических комплексов и систем мониторинга радиоэлектронной обстановки является эффективное обнаружение и сопровождение объектов радиоизлучений, а также идентификация и визуализация в реальном времени типов излучающих объектов и их местоположения по определяющим комплексным информативным параметрам их радиоизлучений.

Проблема обнаружения и сопровождения объектов-источников радиоизлучений (РИ) уже достаточно хорошо изучена, решена и реализована на практике, и требует, в связи с этим, разработки специализированных компьютерных информационных систем, которые бы работали в составе специализированных пассивных и активных радиолокационных систем и комплексов (РЛК), и, используя информацию радиолокационных станций (РЛС) и специализированных комплексов обработки сигналов в составе РЛК, проводили бы визуализацию в реальном времени местоположения источников РИ и их основных информативных параметров и характеристик.

Анализ литературы. В [1] проведен подробный анализ проблемы обнаружения и сопровождения объектов-источников РИ, а также анализ существующих компьютерных систем анализа и идентификации оперативной обстановки в составе радиотехнических комплексов и реализованных в них подходов к решению указанной задачи. В [2-9] показано, что в подобных системах наиболее эффективным является визуальное представление информации в виртуализированной окружающей среде для образной визуализации и обработки информации поэтому решение этой задачи возложено на специализированную подсистему визуализации оперативной обстановки, способы и методы построения которой напрямую определяют эффективность работы всего комплекса.

Цель статьи - разработка общей концепции работы, структуры и алгоритмов работы программной подсистемы визуализации географического местоположения объектов РИ в составе информационной системы РЛК.

Организация визуализации местоположения объекта в компьютерных системах анализа оперативной обстановки радиотехнических комплексов. Для разработки общей концепции работы, структуры при решении задачи визуализации местоположения объекта-источника сигнала оператору системы необходим четкий и наглядный виртуальный инструмент, дающий представление о географическом местонахождении динамического объекта на-, над- или под поверхностью Земли, а также местоположении приемоиндикаторов (ПИ) или станций обнаружения, РЛК и пр.).

Для общей ориентировки объекта относительно мест расположения ПИ обычно пользуются криволинейными координатами в виде географической широты φ долготы λ и параметра h , характеризующего положение объекта, относительно земной поверхности. Координаты φ и λ (географические координаты) определяют точку земного сфероиды, лежащую на том же радиус-векторе (из центра сфероиды), что и точка местоположения объекта. Для криволинейных координат (λ, φ, h) координатными линиями являются меридиан, географическая параллель и прямая, выходящая из центра Земли. С координатными линиями связывается прямоугольный трехгранник, вершина его совпадает с точкой местоположения объекта, оси координат совпадают с касательными к координатным линиям: параллели, меридиану и радиус-вектору точки соответственно.

По сигналам объекта РИ определяются либо расстояния до наземных ПИ, либо их разность. Обычно принимается, что радиоволны распространяются по геодезической линии – линии кратчайшего расстояния между двумя точками на поверхности земного сфероиды. Такие геодезические линии, связывающие направления от РИ до ПИ, принято называть радиолиниями. Связь расстояний с географическими координатами устанавливается на основе так называемой обратной геодезической задачи. При этом измерения связаны

нелинейной зависимостью с оцениваемыми географическими координатами. Алгоритмы оценивания строятся с применением линеаризации относительно-априорных, так называемых счислимых, координат объекта и позволяют находить поправки к счислимым координатам в системе координат *хуз-с* вершиной трехгранника в счислимой точке. Поправки затем пересчитываются в соответствующие поправки к счислимым географическим координатам. Найденные таким образом географические координаты объекта при необходимости могут пересчитываться в любую другую систему координат [2]. На компьютерную подсистему можно, также, возложить решение задачи разрешения многозначности оценивания координат объекта и применять оптимальные методы решения, в которых разрешение многозначности решается одновременно с оцениванием координат.

Предлагаемое решение задачи визуализации географического месторасположения объектов. Задачу визуализации положения объектов радиолиний следует рассматривать как задачу построения геоизображения. Геоизображение – любая пространственно-временная, масштабная, генерализованная модель земных (планетных) объектов или процессов, представленная в графической образной форме.

В качестве геоизображения при решении задачи визуализации местоположения объектов предлагается использовать “виртуальный глобус”. Данное геоизображение классифицируется как динамическое, результаты визуализации при этом соответствуют ортографической проекции. “Виртуальный глобус” прост для восприятия, что имеет определяющее значение при необходимости оценивания визуальной информации в реальном времени. Недостатки азимутной проекции компенсируются динамически изменяемым углом обзора.

При отображении объектов радиолокации на такой виртуальной карте есть возможность отображать наряду с координатами объектов их положение относительно уровня моря (рис. 1). Например, для отображения данной характеристики в наглядном виде возможно использовать прямоугольник с высотой пропорциональной величине характеристики. В зависимости от того, находится ли объект под или над уровнем моря целесообразно использовать различное цветовое сочетание (на рис. 1 светлая заливка с темной рамкой для объектов над уровнем моря и темная заливка со светлой рамкой для объектов под уровнем моря), а также различный масштаб отображения характеристики, что обосновано гораздо меньшими абсолютными значениями максимально возможных глубин подводных объектов по сравнению с максимально возможными высотами воздушных объектов.

Предлагаемая структура подсистемы формирование геоизображений радиолиний в составе системы визуализации РЛК будет состоять из подсистем 3D и 2D (рис. 2).

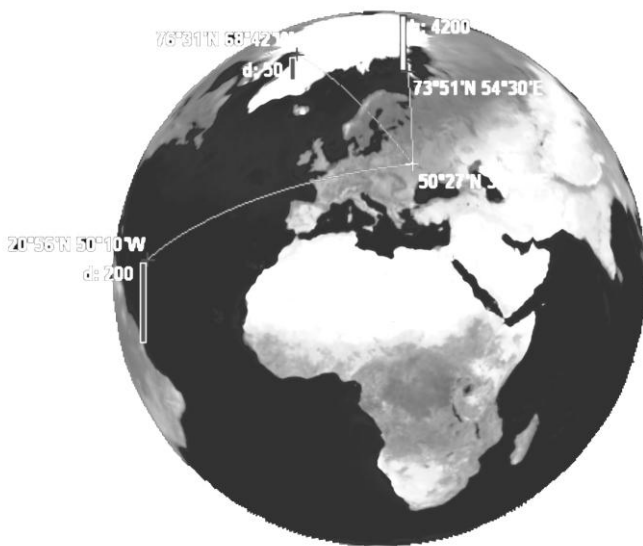


Рис. 1. Отображение на карте положений объектов относительно уровня моря

Состояние подсистемы 3D определяется углами обзора, которые могут произвольно изменять оператором, а также потоком данных о радиолиниях. На основе набора углов обзора в 3D подсистеме формируется система трехмерных координат, и выполняется построение изображения земной поверхности, дополненное буфером глубины. Также, в 3D подсистеме выполняется преобразование данных о радиолиниях, которые поступают в систему координат земного шара, в систему трехмерных координат. Изображение земной поверхности дополняется линиями пеленгации. Применение буфера глубины позволяет отображать только те отрезки линий пеленгации, а также радиолиний, которые находятся на видимой части поверхности.

Подсистема 2D выполняет преобразование координат радиолиний из трехмерной системы координат в двумерную систему координат экрана. В двумерной системе координат полученное в 3D подсистеме изображение дополняется двумерными элементами. 2D подсистема подбирает положения двумерных элементов таким образом, чтобы исключить наложение элементов.

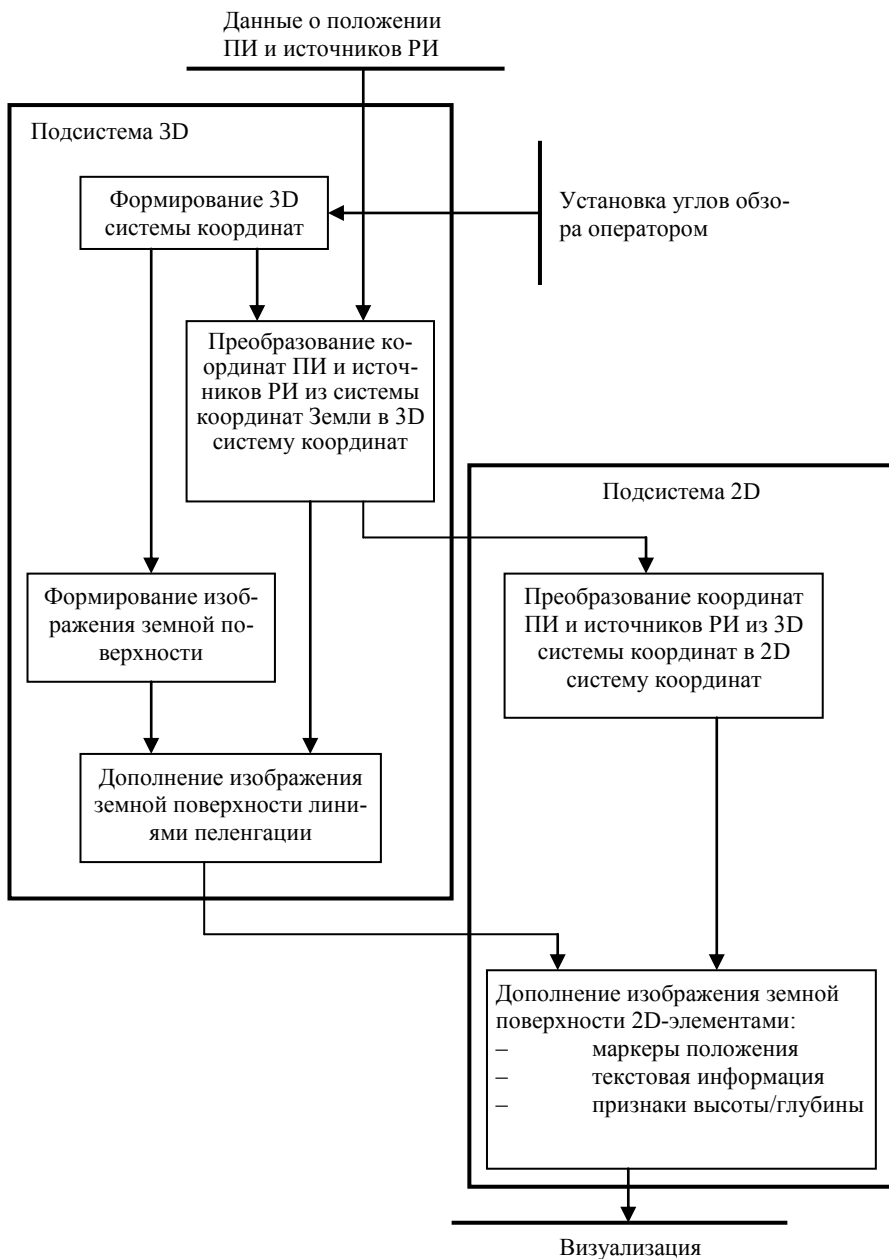


Рис. 2. Структура подсистемы формирования геоизображений радиолиний

В соответствии с такой концепцией представления на рис. 3 представлен предлагаемый интерфейс прототипа подсистемы визуализации географического местоположения объектов радиолиний в виде “виртуального глобуса”. Интерфейс включает область визуализации и блок элементов управления, которые позволяют выполнять поворот “виртуального глобуса” вдоль экватора и вдоль 0-го и 90-го меридианов.

На рис. 4 представлена схема обработки данных ПИ и указаний оператора системой визуализации.

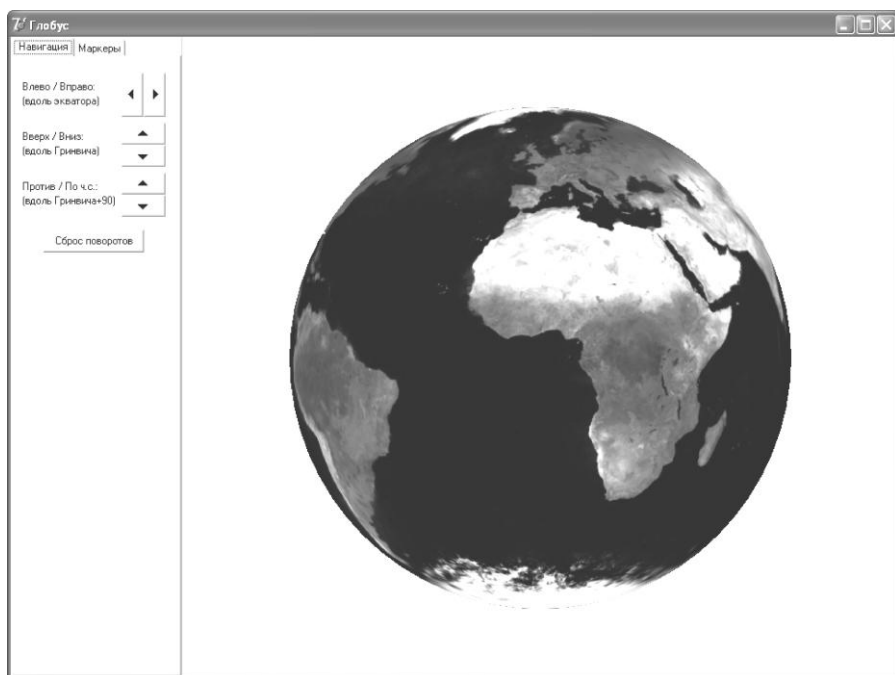


Рис. 3. Интерфейс подсистемы визуализации местоположения

На рис. 5 представлен пример визуализации подсистемой, отображающий радиолинии из 3 ПИ и 2 объекта-источника РИ.

Как видно из приведенных примеров, предлагаемая подсистема визуализации географического местоположения объектов способна предоставлять информацию о положении ПИ и источниках РИ в удобном для оператора виде, обладает интуитивно понятным интерфейсом и органами управления навигацией.

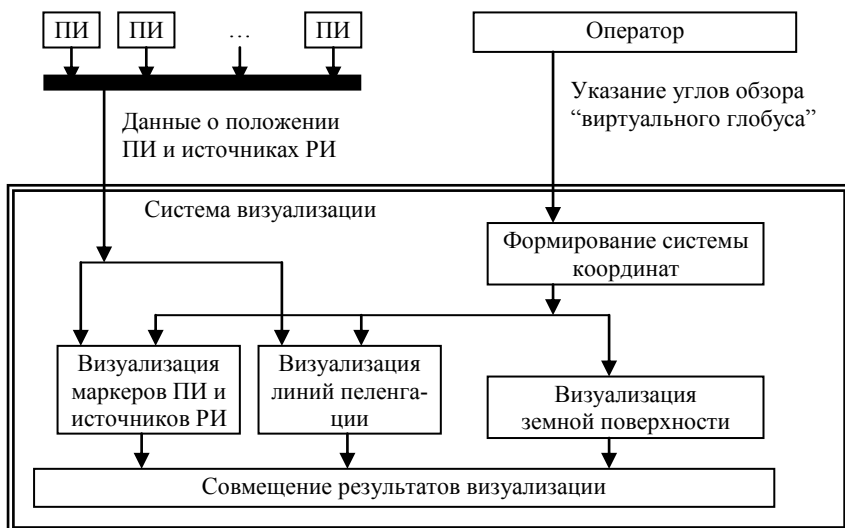


Рис. 4. Схема работы подсистемы визуализации местоположения

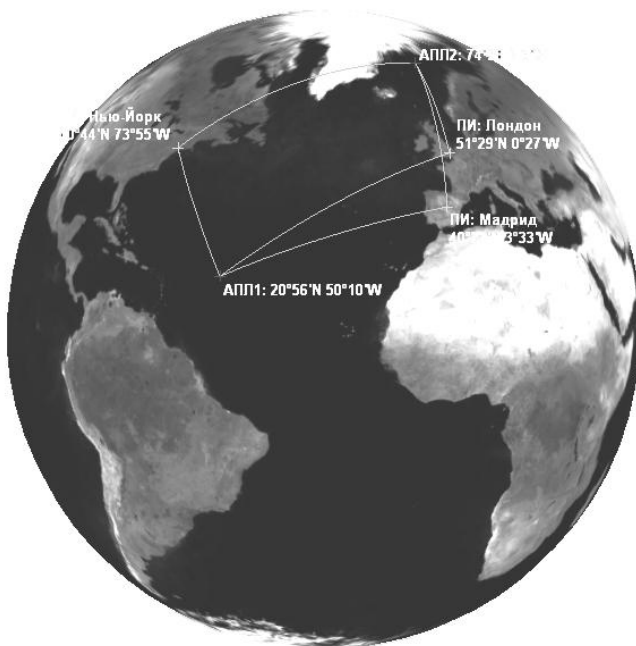


Рис. 5. Пример результата визуализации в подсистеме

Выводы. Авторами разработана общая концепция работы и структура программной подсистемы визуализации географического местоположения объектов радиолиний в составе информационной системы РЛК.

На основе анализа методов визуального представления информации о положении объектов, разработаны алгоритмы расчета и визуализации географического местоположения объектов радиолиний, для повышения информативности и достоверности визуализации предложено использовать визуализацию в виде «виртуального глобуса» с использованием орфографической проекции.

Разработан и исследован интерфейс и прототип программной подсистемы визуализации, проведено испытание его работы, подтвердившее работоспособность и правильность предложенных подходов.

Список литературы: 1. *Рябкин Ю.В.* Установление информативных параметров типовых источников радиоизлучений для их идентификации/ *Ю.В. Рябкин* // Моделирование и компьютерная графика: Материалы 1-й международной научно-технической конференции, г. Донецк, 04-07 октября 2005 г. - Донецк, ДонНТУ, Министерство образования и науки Украины, 2005. - с. 243-247. 2. *Зенков А.И.* Реализация модульного подхода при построении унифицированной системы научной визуализации / *А.И. Зенков*. - Сборник трудов научной международной конференции по компьютерной графике и анимации "Графикон-2002", Нижний Новгород, 2002. 3. *Dos Santos S., Brodlie K.* Gaining understanding of multivariate and multidimensional data through visualization.- *Computers & Graphics*, 2004 Vol. 28.- p.311-325. 4. Отображение информации в Центре управления космическими полетами / *А.В.Милицин, В.К.Самсонов, В.А.Ходак, И.И.Литвак*. - М.: Радио и связь, 1982.- 192 с., ил. 5. *Баяковский Ю.М., Томилин А.Н.* Моделирование сложных систем и виртуальная реальность. // Вопросы кибернетики. РАН, 1995. 6. *А.С. Самардак.* Геоинформационные системы, Владивосток, 2005 7. *Рябкин Ю.В.* Программная система визуализации частотно-временных характеристик сигналов радиолокационных станций /Донбас-2020: наука і техніка – виробництву: Матеріали III науково-практичної конференції. м. Донецьк, 30-31 травня 2006 р. - Донецьк, ДонНТУ Міністерства освіти і науки, 2006.- с. 505-512. 8. *Романюк О.Н.* Особливості архітектурної побудови систем формування тривимірних зображень / *Романюк О.Н., Обідник М.Д., Романюк О.В.* – Сборник трудов третьей международной научно-технической конференции "Моделирование и компьютерная графика", Донецк, ДонНТУ, 2009. 9. *Ковальский С.В.* Визуализация комплексных частотно-временных характеристик сигналов / *Ковальский С.В., Зори С.А.* – Сборник трудов третьей международной научно-технической конференции "Моделирование и компьютерная графика". Донецк, ДонНТУ, 2009.

Статья представлена д.т.н., проф. ДонНТУ Башковым Е.А.

Поступила в редакцию 27.04.2011

А.Н. БОРИСЕНКО, д-р техн. наук, НТУ «ХПИ»,
Б.И. КУБРИК, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»,
О.В. ЛАВРИНЕНКО, стажер-препод. НТУ «ХПИ»,
Е.В. СОСИНА, ассистент НТУ «ХПИ»

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

Ідентифікація дефектів, побудова вирішальних правил і формування сукупностей, що навчають, для систем управління і діагностики дизель-генераторів на базі теорії ЛПВП.

Идентификация дефектов, построение решающих правил и формирование обучающей совокупности, для систем управления и диагностики дизель-генераторов на базе теории ЛПВП.

Defect identification, building of resolving rules and generation of training sequences for control and diagnostics systems LPRP

Постановка проблемы. Обеспечение приемлемых технико-экономических и экологических показателей дизель-генераторов тесно связано с поддержанием на должном уровне технического состояния агрегатов и качества работы систем регулирования, которые в процессе эксплуатации изменяются. В связи с этим возникает необходимость непрерывного контроля технического состояния силовой установки в процессе эксплуатации по соответствующим информативным параметрам и диагностическим признакам, которые необходимо выбрать с учетом экспериментальных данных.

Анализ литературы показывает, что диагностирование дизелей производят либо по сигналам множества датчиков режимных параметров агрегата [1, 2], либо по сигналу одного датчика неравномерности вращения вала [3-6], что удобнее в плане привязки к объекту, но усложняет процесс обработки информации. Глубина диагностирования при этом существенно зависит от выбора математической модели диагностического сигнала. Например, в работах [5, 6] в качестве таковой был использован линейный периодический случайный процесс (ЛПСР), низшие моменты которого (дисперсия и корреляционная функция) используются в качестве диагностических признаков, и позволяют обнаружить неисправный цилиндр.

Цель работы – на базе математической модели ЛПСР, описывающей процесс неравномерности вращения вала дизеля с учетом случайного его характера и физической природы явлений, происходящих в тепловом двигателе.

ле, теоретически обосновать, а затем экспериментально проверить новые информативные параметры, характеризующие техническое состояние дизелей, на основании предложенных параметров построить обучающие совокупности (образы) и разработать решающие правила, которые с большей точностью позволяют выявить дефекты в дизеле.

По своей физической природе дизель-генератор (ДГ) является объектом циклического действия и угловая скорость его коленчатого вала содержит три составляющие: постоянную (среднее значение), переменную (отклонение мгновенной скорости от среднего значения, что может охарактеризовано дисперсией) и импульсную составляющую, имеющую место при резких изменениях тока генератора. Поскольку указанная угловая скорость подвержена влиянию множества случайных факторов (подача топлива, воздухообеспечение, изменение нагрузки и т.д.), ее можно рассматривать как случайный процесс $\{\xi(t) \mid t \in (-\infty, \infty)\}$, к которому в качестве математической модели в полной мере подходит ЛПСП [5, ... ,8].

Определения и основные характеристики ЛПСП. Согласно [5, ... ,8], случайный процесс $\{\xi(t) \mid t \in (-\infty, \infty)\}$ называется периодическим в широком смысле, если существует такое $T > 0$, для которого одномерная и двумерная функции распределения удовлетворяют условиям:

$$F(x; t) = F(x; t + T)$$

$$F(x_1; x_2; t_1, t_2) = F(x_1, x_2; t_1 + T, t_2 + T),$$

$$t_1, t_2 \in (-\infty, \infty)$$

ЛПСП имеет моменты высшего порядка (включая и коэффициенты асимметрии и эксцесса), которые можно использовать в качестве диагностических признаков для уточнения технического состояния двигателя.

С целью получения сигнала угловой скорости коленчатого вала ДГ была проведена серия экспериментальных работ на агрегатах типов 10Д100 и Д70, в ходе которых упомянутый сигнал снимался либо с индуктивного датчика, установленного вблизи венца валоповоротной шестерни или специальной измерительной шестерни, либо с оптоэлектронного датчика типа ПДФ-3, который устанавливался на свободном конце вала дизеля. Для определения типа распределения процесса изменения скорости вала (рис.1), реализации были обработаны с использованием гистограммного анализа с последующим сглаживанием полученных гистограмм по методу наименьших квадратов [9]. Отметим, что тахограммы на рис. 1–4, 6, 7 были записаны на шлейфовый осциллограф в установившемся режиме работы ДГ, причем для синхрониза-

ции использовался сигнал отметчика верхней мертвой точки первого цилиндра (этот сигнал на графиках не показан).

На рис. 1 приведена осциллограмма девиации угловой скорости вала ДГ типа 10Д100 без дефектов, работающего в номинальном режиме, гистограмма распределения угловой скорости и сглаживающая кривая, построенная по методу наименьших квадратов. Общий объем выборки данных за один оборот вала составляет 1500 точек.

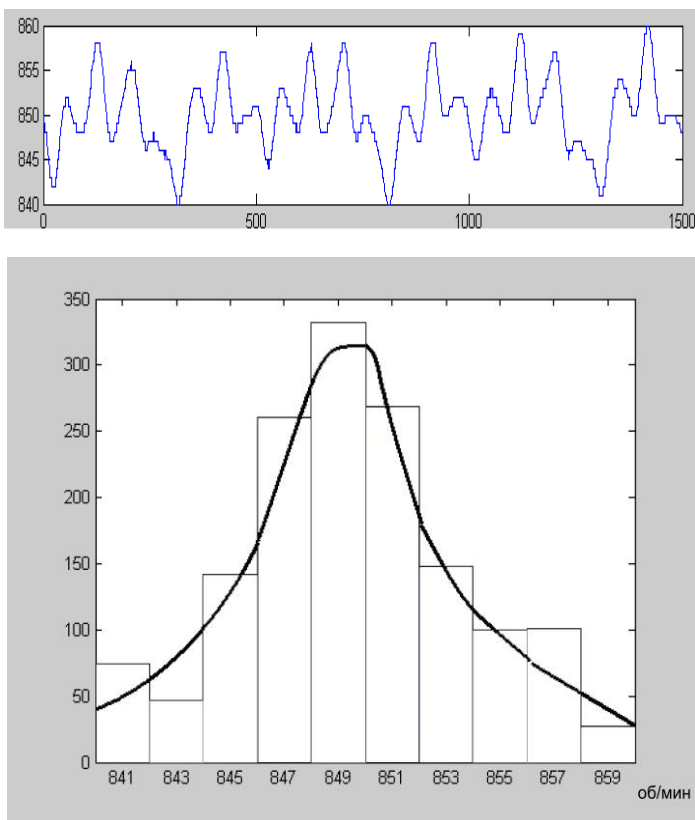


Рис. 1. Осциллограмма девиации угловой скорости вала ДГ типа 10Д100 без дефектов

На рис. 2 приведены тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты в цилиндро-поршневой группе, в частности, задиры. За один оборот вала при этом было снято 3000 точек.

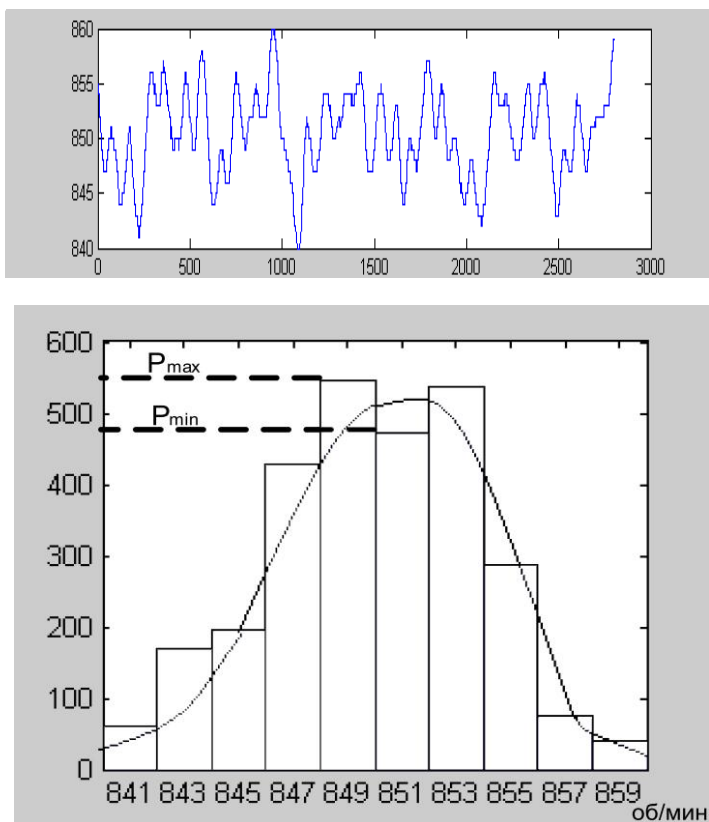


Рис. 2. Тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты

На рис. 3, 4 приведены графические иллюстрации для дизельной установки того же типа с дефектами в топливоподающей аппаратуре. Рис. 3 соответствует случаю пониженной цикловой подачи топлива, а рис. 4 – позднему впрыскиванию топлива. За оборот вала регистрировалось 2500 точек.

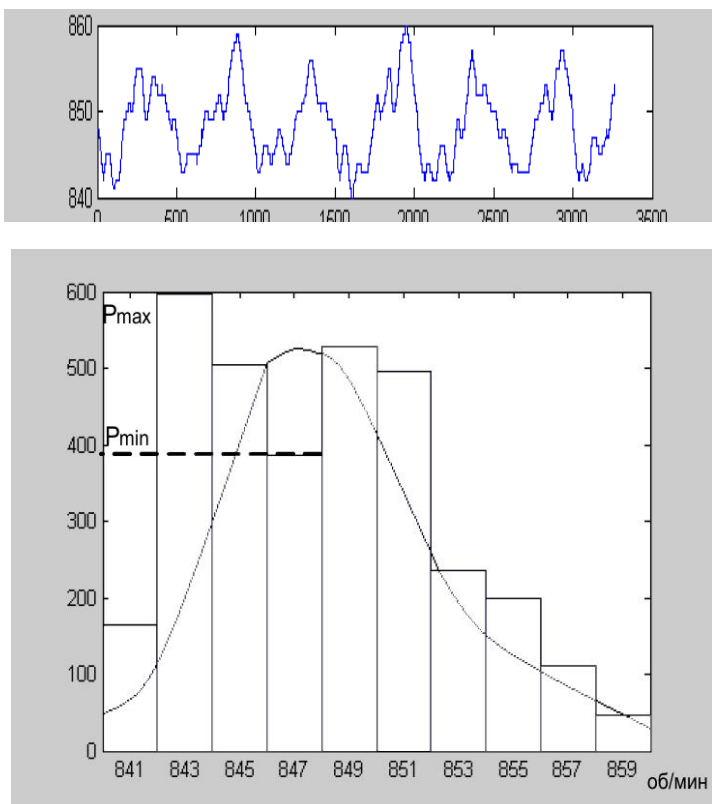


Рис. 3. Тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты в топливopодающей аппаратуре с пониженной цикловой подачей топлива

Для этих кривых найдены асимметрия и эксцесс [7], которые были приняты в качестве диагностических признаков.

$$k = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{(n-1)^3 \cdot (G_x)^3}} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^3,$$

$$j = \frac{n}{(n-1)^2 \cdot (G_x)^4} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^4 - 3,$$

где n - число измерений;

x_i - i -я измеренная величина;

m_x - математическое ожидание измеренной величины;

G_x - среднеквадратическое отклонение измеренной величины.

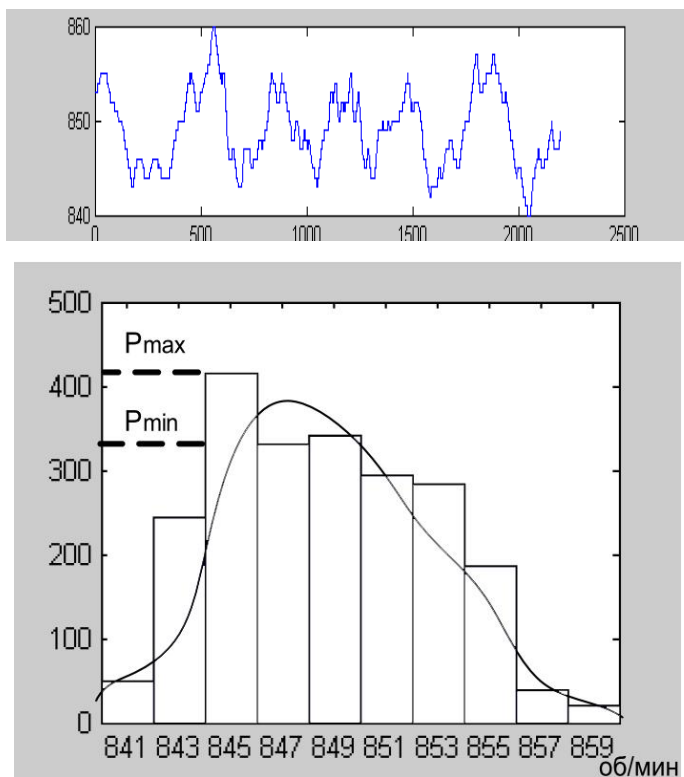


Рис. 4. Тахограмма, гистограмма и сглаживающая кривая для агрегата 10Д100, имеющего дефекты в топливopодающей аппаратуре с поздним впрыскиванием топлива

Именно эти параметры были выбраны в качестве координат диагностического пространства, в котором по количественным оценкам k и j были построены обучающие совокупности. После обработки 387 гистограмм со сглаживающими кривыми были сформированы обучающие совокупности, соответствующие различным техническим состояниям ДГ. Это иллюстрируется рис. 5.

В частности, область I соответствует дизель-генератору без дефектов; области II – агрегату с дефектами цилиндро-поршневой группы, причем в случае $k > 0$ имеют место неплотности, а в случае $k < 0$ – задиры; область IV соответствует отклонению цикловой подачи топлива от требуемого значения, причем в случае $k > 0, j < 0$ – цикловая подача топлива ниже нормы, а при $k < 0, j > 0$ – выше нормы; область IV означает отклонение фазы топливopодачи от нормы: при $k > 0$ - ниже нормы, при $k < 0$ - выше нормы.

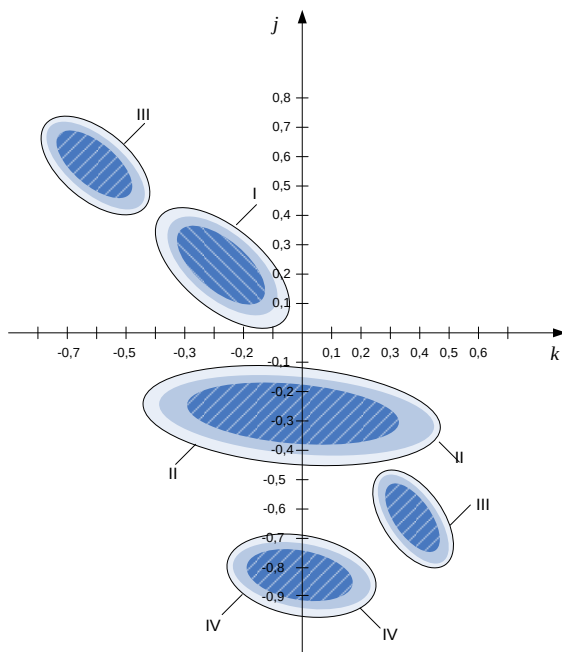


Рис. 5. Обучающие совокупности, соответствующие различным техническим состояниям ДГ

Автором была выполнена статистическая обработка осциллограмм мгновенной угловой скорости коленчатого вала ДГ 10Д100, в котором поочередно отключался тот или иной цилиндр путем установки в нулевое положение соответствующей рейки топливного насоса. В качестве примера на рис. 6 приведены гистограмма и сглаживающая кривая при отключенном первом цилиндре, а на рис.7 – при отключенном втором цилиндре. Анализируя полученные гистограммы, можно отметить следующее.

При отсутствии дефектов у ДГ гистограмма и сглаживающая кривая имеют единственный экстремум (максимум) в точке, соответствующей настройке регулятора скорости (на рис.1 – это 850 об/мин). При наличии дефектов, как видно из рис. 2, 3, 4, на гистограмме между двух максимумов (большой из которых обозначен P_{max}), имеется минимум (обозначенный P_{min}) вблизи точки, соответствующей настройке регулятора скорости. У дизеля с дефектами, но всеми работающими цилиндрами, коэффициент работоспособности $K_{pc} = \frac{P_{min}}{P_{max}}$ составляет не менее 0,5. Если же у дизеля отключен хотя

бы один цилиндр, то $K_{pc} < 0,5$. Например, рис.6 соответствует $K_{pc} = 0,43$, а рис.7 соответствует $K_{pc} = 0,27$. Такое расхождение значений K_{pc} объясняется, по-видимому, неполной идентичностью отключаемых (первого и второго) цилиндров. По величине коэффициента K_{pc} можно судить о техническом состоянии ДГ, то есть его можно использовать как дополнительный диагностический признак.

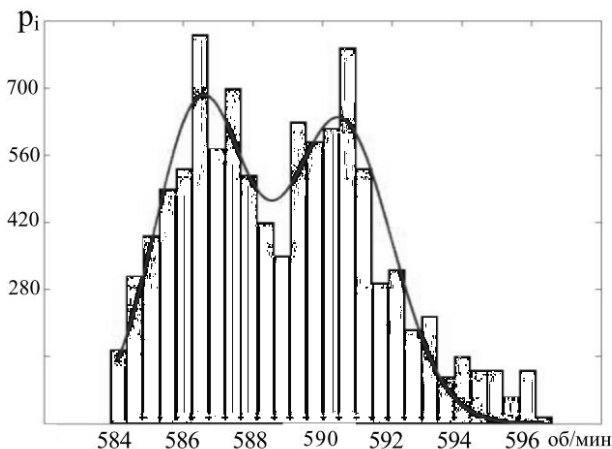


Рис. 6. Гистограмма и сглаживающая кривая при отключенном первом цилиндре

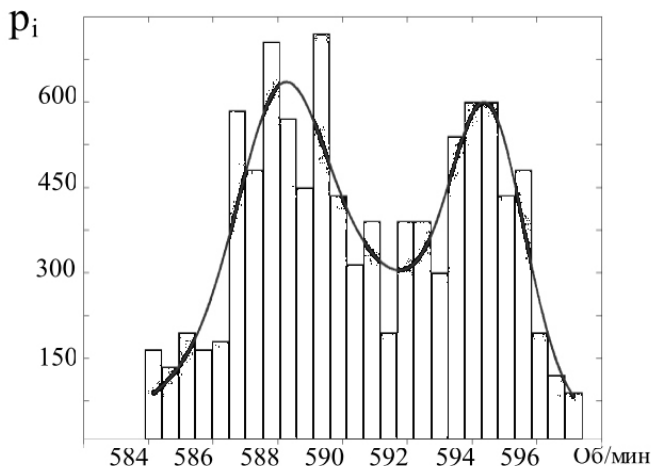


Рис. 7. Гистограмма и сглаживающая кривая при отключенном первом цилиндре

Выводы. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали:

1. В качестве диагностических признаков технического состояния ЦПГ дизеля эффективно можно использовать коэффициенты асимметрии и эксцесса, а также коэффициент работоспособности $K_{рс}$.

2. В качестве диагностического пространства для формирования обучающих совокупностей предложено использовать плоскость, осями координат в которой используются коэффициенты асимметрии и эксцесса.

3. В выбранном диагностическом пространстве предложен способ построения образов, соответствующих следующим техническим состояниям узлов ЦПГ:

- условно исправны;
- наличие задиоров;
- наличие неплотностей.

4. Предложен способ выявления разрегулировки цикловой подачи и фазы впрыска топлива.

Список литературы: 1. *Станиславский Л.В.* Техническое диагностирование дизелей.- Киев, Донецк // Вища школа. Главное издательство, 1983. – 135с. 2. *Ле Ван Дием.* Модели и алгоритмы технического диагностирования силовых дизельных установок в процессе эксплуатации.- Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук.- Санкт-Петербург, 2006 г. - 24 стр. 3. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 1. модели динамики цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1998. – № 5 – с. 36-40. 4. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 2. Построение оценок линейных ПКСП, описывающих динамику цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. –1998. –№ 6. – с. 39-42. 5. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 3. Физическая конкретизация параметров модели и имитационное моделирование динамики цилиндрических мощностей на валу дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1999. – №1. – с. 59-636. 6. *Марченко Б.Г., Мыслович М.В.* Теория диагностики энергоагрегатов по девиации вращающихся узлов и ее практическая реализация на дизель-электрических генераторах. Часть 4. Экспериментальная проверка методики диагностики цилиндрической группы дизель-электрического генератора. // Техн. электродинамика. – 1999. – № 4. – с. 40-45. 7. Вопросы статистической теории радиолокации / П.А. Бакут, И.А. Большаков и др.: под ред. Г.П. Татаковского. – т.1. – М.: Сов. Радио, 1963. – 424 с. 8. *Борисенко А.Н., Литвиненко С.А.* Вопросы выбора информативных параметров и диагностических признаков для систем управления и диагностики дизель-генераторов. - Харьков //Вестник НТУ ХПИ, 2008. 9. *Дьяконов В.П., Круглов В.* Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. СПб.: Питер, 2001.

Поступила в редакцию 27.09.2011

Н.И. БОЙКО, д-р техн. наук, главн. науч. сотр., проф. НТУ «ХПИ»,
Л.С. ЕВДОШЕНКО, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»,
В.М. ИВАНОВ, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

КОММУТАЦИЯ ЭНЕРГИИ ТИРИСТОРАМИ И ТРАНЗИСТОРАМИ ИЗ НИЗКОВОЛЬТНОЙ ЦЕПИ В ВЫСОКОВОЛЬТНУЮ В ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ГЕНЕРАТОРАХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Розглянуто відмінності тиристорів і транзисторів у якості ключів при комутації низьковольтних кіл для передачі енергії у навантаження в трансформаторних генераторах високовольтних імпульсів.

Differences are considered for thyristors and transistors as keys when switching low voltage circuits to transmit energy in load of transformer high-voltage pulse generators.

Рассмотрены отличия тиристоров и транзисторов в качестве ключей при коммутации низковольтных цепей для передачи энергии в нагрузку в трансформаторных генераторах высоковольтных импульсов.

Тиристоры и транзисторы – наиболее распространённые управляемые полупроводниковые приборы, которые широко применяются в качестве ключевых элементов в современной силовой электронике [1, 2]. Всё большее применение они находят в качестве ключей для низковольтных цепей в различных высоковольтных устройствах, в том числе в высоковольтных генераторах на основе импульсных трансформаторов. Оба эти типа приборов могут работать в микросекундном и наносекундном диапазоне времени переключения энергии в нагрузку при рабочих напряжениях между силовыми выводами отдельного прибора до 10 кВ и допустимых токах через прибор (или сборку в отдельном корпусе) до нескольких килоампер. Для тиристора эти выводы – анод и катод, для биполярного транзистора – коллектор и эмиттер. И тиристоры, и транзисторы могут использоваться в качестве включающих (замыкающих) приборов. Принципиальным отличием транзистора от классического тиристора как ключа является возможность произвольного управляемого выключения (размыкания) транзистора в любой возможный момент времени. Это отличие, которое на первый взгляд выглядит неоспоримым преимуществом, может привести к выходу из строя транзистора (транзисторного ключа), если выбрать момент его выключения неправильно. В трансформаторных источниках (генераторах) высоковольтных импульсов с различными вариантами нагрузки (ёмкостной, индуктивной, резистивной, смешанной) при выключении транзисторного ключа в их низковольтной цепи, когда через ключ протекает ток i , по закону электромагнитной индукции на ключе может быть наведено напряжение

$$u=d(Li)/dt,$$

где L – индуктивность низковольтной цепи, в которой находится транзисторный ключ и через которую протекает ток i .

Напряжение u может превысить допустимое напряжение на транзисторном ключе несмотря на защитные меры (например, установку сапессоров или защитных RC – цепочек). Это приведет к выходу транзисторного ключа из строя. Чем быстрее происходит размыкание ключа, тем больше возникающее напряжение u на нем, тем быстрее должна срабатывать защита ключа от перенапряжений. Наиболее простым и эффективным методом защиты транзисторного ключа от перенапряжений, вызванных его размыканием, является выключение его в те отрезки времени, когда ток через ключ не протекает, или ток достаточно мал. В этом случае быстродействующие транзисторы имеют преимущество, поскольку для их размыкания требуется минимальное время отсутствия тока (например, 30 нс). Сказанное весьма важно для современных транзисторов – IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors), поскольку они допускают протекание больших токов (до нескольких килоампер в одной сборке), имеют короткое время размыкания, лежащее в наносекундном диапазоне, и не допускают перенапряжений.

Список литературы: 1. *Месяц Г.А.* Импульсная энергетика и электроника / *Г.А. Месяц*. – М.: Наука, 2004. – 704 с. 2. *Семёнов Б.Ю.* Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 416 с.

Поступила в редколлегию 06.10.11

А.В. БОРЦОВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»,
О.Л. РЕЗИНКИН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ГЕНЕРАТОРА С СУБМИКРОСЕКУНДНЫМ ФРОНТОМ

Створена система керування та захисту імпульсного високовольтного генератора з коротким фронтом. Запропоновано декілька удосконалень існуючих електронних вузлів, які використаються у системах керування та захисту високовольтних генераторів.

Створена система керування та захисту імпульсного високовольтного генератора з коротким фронтом. Запропоновано декілька удосконалень існуючих електронних вузлів, які використаються у системах керування та захисту високовольтних генераторів.

The system of control and defence of high-voltage pulses with short front is created. A few improvements of existent electronic devices, which will be utilized in the system control and defence of high-voltage generators, are offered.

Высоковольтные импульсные генераторы с коротким фронтом ($T_f \leq 100$ нс) в настоящее время находят широкое применение, как для научных, так и для технологических целей [1 – 3].

Импульсный высоковольтный генератор для электрофизических установок содержит следующие узлы (рис. 1): источник энергии – однофазная или трехфазная сеть, сетевой выпрямитель, сглаживающий фильтр, однотактный или двухтактный инвертор напряжения, импульсный трансформатор, системы управления и защиты, нагрузка.

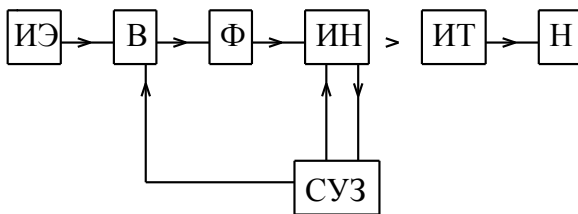


Рис. 1. Блок – схема импульсного высоковольтного генератора:
 ИЭ – источник энергии; В – сетевой выпрямитель; Ф – сглаживающий
 фильтр; ИН – инвертор напряжения; ИТ – импульсный трансформатор;
 Н – нагрузка; СУЗ – системы управления и защиты.

Сетевой выпрямитель, как правило, выполняется по мостовым схемам выпрямления – схема Греча для однофазной сети, схема Ларионова для трехфазной сети. В качестве выпрямителей можно использовать регулируе-

мые одно – и трехфазные выпрямители.

Основными узлами силового контура импульсного высоковольтного генератора являются: инвертор напряжения, преобразующий постоянное напряжение в импульсное и импульсный трансформатор, обеспечивающий в нагрузке требуемые параметры импульсов тока и напряжения.

Неотъемлемой частью высоковольтного генератора является система управления и защиты (СУЗ), которая должна выполнять следующие функции:

- регулировать амплитуду импульсов напряжения на нагрузке;
- задавать временные характеристики (длительность фронта, длительность импульса, частота, с возможностью плавной регулировки) импульсов напряжения на нагрузке;
- устранять “сквозные” токи в двухтактных преобразователях;
- ограничивать максимальные токи и напряжения ключевых элементов в аварийных ситуациях.

Разработанная система управления и защиты состоит из следующих модулей (рис. 2):

- модуль питания – А1;
- модуль регулировки напряжения – А2;
- измеритель тока с гальванической “развязкой” – А3;
- задающий генератор с плавной регулировкой частоты следования импульсов – А4;
- модуль устранения “сквозных” и ограничения максимальных токов через ключевые элементы – А5;
- электронный таймер – А6;
- модуль “начальной установки” – А7;
- один, два или четыре драйвера управления ключевыми элементами с гальванической “развязкой” – А8 – А11.

Модуль питания А1 состоит из понижающего сетевого трансформатора TV1, мостового выпрямителя VD1, фильтра C2, компенсационного стабилизатора DA1 и высокочастотного преобразователя напряжения (VT1, VT2, TV2, VD4 – VD7, L2 – L5, C5 – C8). Стабилизатор напряжения обеспечивает питание всех электронных узлов СУЗ стабильным напряжением +15 В. Высокочастотный преобразователь напряжения (по схеме Ройера) предназначен для питания напряжением ± 15 В драйверов управления. В зависимости от вида импульсов в нагрузке (однополярные или двуполярные) преобразователь напряжения имеет одно, два или четыре выходных напряжения. Гальваническая “развязка” СУЗ и драйверов управления осуществляется как по цепи питания +15 В, так и по входу сигнала управления.

Модуль регулировки напряжения А2 обеспечивает широтно-импульсное управление оптимистором, входящего в однофазный мостовой выпрямитель установки ИКР. Модуль содержит:

- узел синхронизации с сетевым напряжением – R4, R5, VD8, VT3;

- интегратор – DA2.1, VT4, RP1, R7, R8, C9;
- компаратор – DA2.2, VT5, R9 – R14, RP2, C10;
- усилитель мощности – VT6, R15, R16.

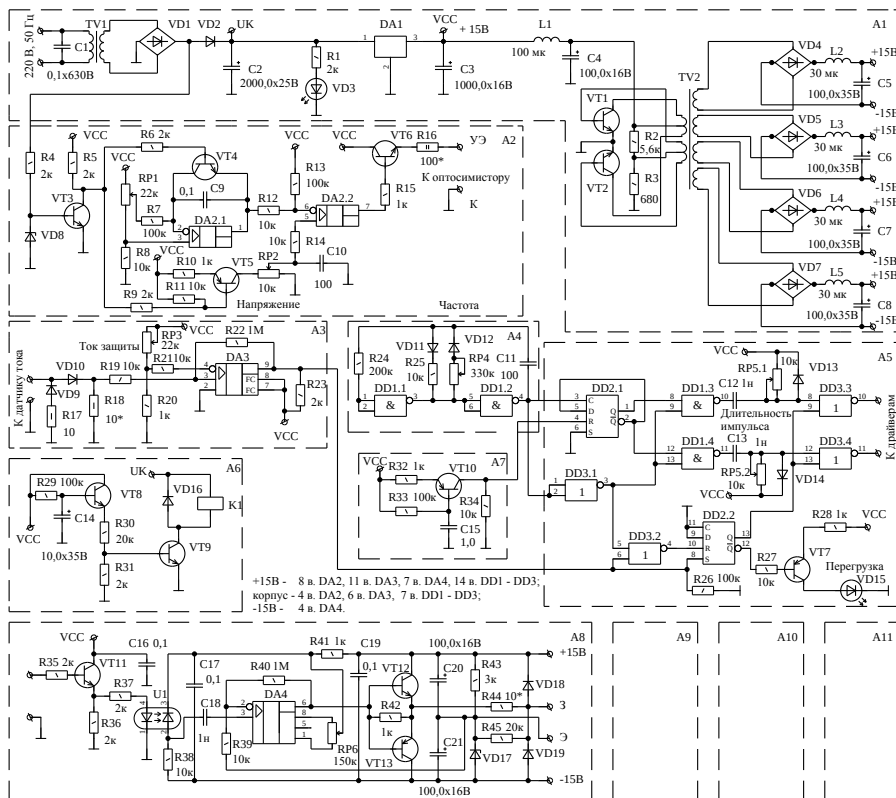


Рис. 2. Электрическая схема системы управления и защиты

Измеритель тока с гальванической “развязкой” A3 предназначен для контроля тока, протекающего через силовые ключи установки ИКР. Ток измеряется индукционным методом с помощью трансформатора тока. Сигнал напряжения, пропорциональный измеряемому току, с резистора R18 подается на неинвертирующий вход компаратора DA3. На инвертирующий вход компаратора подано опорное напряжение с помощью резистивного делителя RP3, R20. При достижении входного сигнала уровня опорного напряжения на выходе компаратора R23 формируется импульс перегрузки, который в модуле A5 выключает сигналы управления силовыми ключами.

Задающий генератор A4 собран на цифровых микросхемах КМОП – серии по классической схеме автогенератора с плавной регулировкой частоты.

Длительность импульса выбрана равной $(1,5 - 2)$ длительности времени выключения силовых ключей. Верхняя рабочая частота генератора в два раза выше максимальной частоты следования импульсов в нагрузке.

Анализ существующих схем позволил разработать единый модуль А5, включающий в себя модуль устранения “сквозных” токов (*DD2.1, DD3.1, DD1.3, DD1.4*), модуль ограничения тока в нагрузке (*DD2.2, DD3.2, R26 – R28, VT7, VD15*), модуль плавной регулировки длительности импульсов (*DD3.3, DD3.4, C12, C13, VD13, VD14, RP5*).

Работу модуля А5 проанализируем, используя эпюры напряжений в характерных точках схемы (рис. 3). По фронту тактового импульса (эпюра 1) запускается “делитель на 2” на *D*-триггере (*DD2.1*), на выходе которого получаются два противофазных сигнала (эпюры 3, 4) с периодом следования $T = 2 T_r$. Непосредственно эти импульсы для включения транзисторов инвертора использовать нельзя, так как существуют моменты времени, в которые одновременно открыты транзисторы обоих плеч мостового инвертора и протекает “сквозной ток”. Для устранения “сквозных токов” используется импульс 2 (эпюра 2), по спаду которого выключаются интегральные ключи *DD1.3* и *DD1.4* на время равное $T_{и} = T_{з} = (1,5 - 2)T_{\text{выкл}}$, и таким образом устраняются “сквозные токи” в инверторе.

При нормальном режиме работы – импульс перегрузки по току имеет низкий уровень (эпюра 7), импульс 8 устанавливает выход *D*-триггера *DD2.2* в нулевое состояние и сигналы 5, 6 проходят через ключи *DD3.1* и *DD3.2* на выход электронного узла (эпюры 11 и 12). Импульсы 11 и 12 разделены между собой интервалом времени, исключающим протекание “сквозного тока”. Далее импульсы 11 и 12 поступают на входы соответствующих драйверов, управляющих силовыми ключами.

В случае протекания через инвертор аварийного тока измеритель тока выдает импульс перегрузки длительностью $T_{\text{пер}}$ (эпюры 7 и 9), который устанавливает выход *D*-триггера *DD2.2* в единичное состояние, тем самым закрывая ключи *DD3.1* и *DD3.2* на время действия перегрузки по току. В результате выходные импульсы 11 и 12 уменьшаются по длительности и ограничивают ток в инверторе на безопасном уровне. При снятии перегрузки по току нормальный режим работы восстанавливается автоматически.

Электронный таймер А6 предназначен для ограничения зарядного тока емкостного накопителя при первом включении установки ИКР. В течение ~ 1 сек заряд конденсатора происходит через мощный ограничительный резистор. Потом срабатывает электронный таймер А6, включается реле К1 и своими контактами шунтирует ограничительный резистор.

Важную роль в работе СУЗ ВЭФУ ИКР играет модуль “начальной установки” А7. При подаче напряжения питания в высоковольтной установке ИКР, в системе управления и защиты в течение некоторого времени ($\sim 0,1$ сек) устанавливается рабочий режим. В это время возможен процесс неконтролируемого включения высокого напряжения в нагрузку. Для устранения этой возможности модуль “начальной установки” А7 в течение $\sim 0,5$ сек блокирует сигналы управления силовыми ключами.

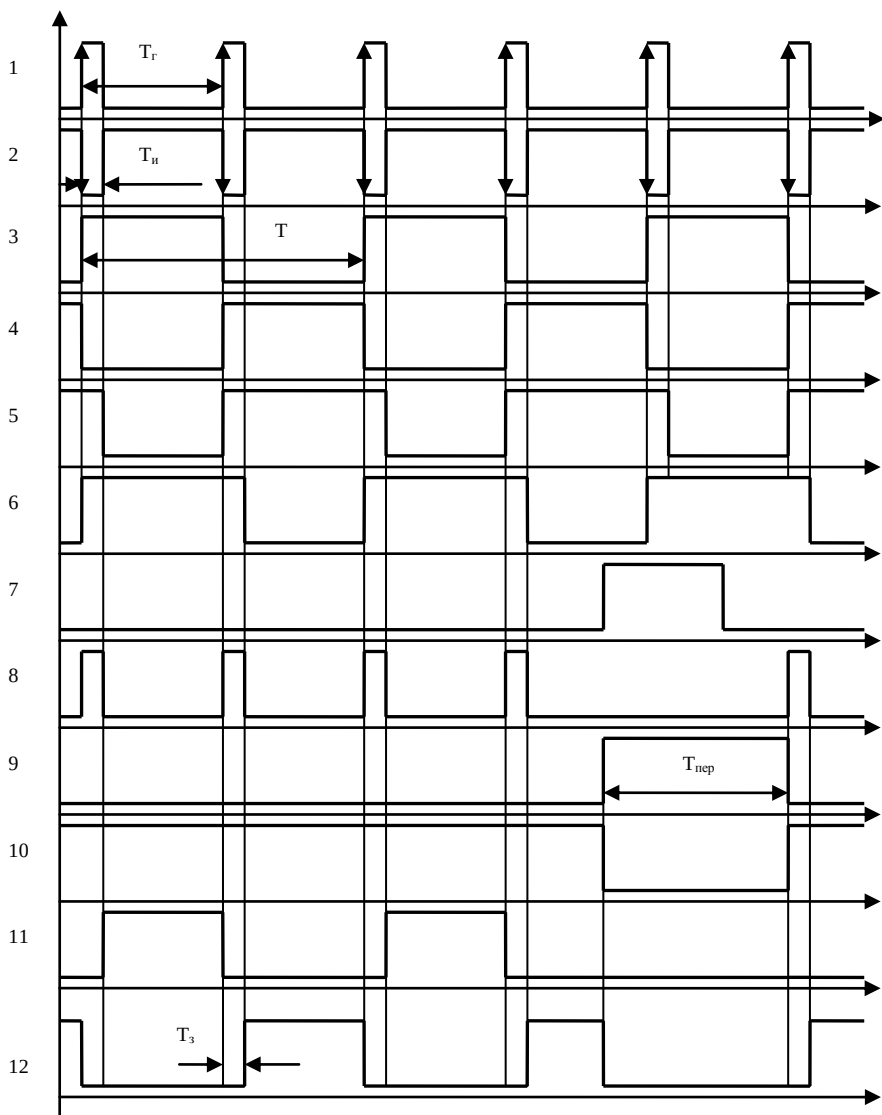


Рис. 3. Эпюры напряжений в характерных точках системы управления и защиты: $T_{\text{И}}$, T_{Γ} – длительность и период следования тактовых импульсов; T – период следования выходных импульсов; $T_{\text{пер}}$ – длительность импульса перегрузки; $T_{\text{з}}$ – длительность задержки включения силовых ключей.

По истечению этого времени модуль “начальной установки” не влияет на работу СУЗ.

Потребность в разработке быстродействующих драйверов (A8 – A11) управления *IGBT* – и *MOSFET* – транзисторов с гальванической “развязкой” вызвана необходимостью формирования мощных, коротких импульсов управления (длительность импульса ≤ 1 мкс) и недостатками (возможность “тиристорного защелкивания”, дороговизна) промышленных образцов (например, драйверов *IR2117*, *IR2213* фирмы *International Rectifier*).

На входе драйверов для гальванической “развязки” включен быстродействующий диодный оптрон *U1* (АОД130А). Время нарастания и спада сигнала АОД130А не превышает 100 нс. Сигнал с выхода оптрона подается на неинвертирующий быстродействующий усилитель ОУ КР544УД2А. Двухтактный усилитель мощности на СВЧ – транзисторах КТ972А и КТ973А обеспечивает необходимые мощность и уровни сигналов управления. Питается драйвер от высокочастотного преобразователя модуля питания А1.

СУЗ помещена в заземленный металлический экран. По цепям питания установлены фильтры из малоиндуктивных керамических конденсаторов. Связи между модулями и органами управления выполнены экранированными витыми парами.

Выводы.

1. Разработана система управления и защиты высоковольтным генератором. При разработке СУЗ решена проблема электромагнитной совместимости системы управления при работе генератора, особенно при использовании систем обострения фронта импульса напряжения на нагрузке.

2. Решен ряд схемотехнических задач:

- усовершенствован интегратор в широтно-импульсном регуляторе напряжения;

- разработан единый модуль ограничения “сквозных” и максимальных токов в ключевых элементах;

- разработан быстродействующий драйвер управления *IGBT* – и *MOSFET* – транзисторов с гальванической “развязкой”.

Список литературы: 1. Высоковольтные электротехнологии. Уч. пос. по курсу «Основы электротехнологии» для студ – в вузов / О.А. Аношин, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.: Под ред. И.П. Верещагина. – М.: Изд – во МЭИ, 2000. – 204 с. 2. Озон и другие экологически чистые окислители: Наука и технологии: 31-й Всероссийский семинар. Москва, химический факультет МГУ, 2-3 июня 2010 г.: Сборник материалов/ Под ред. В.В. Лунина, В.Г. Самойловича, С.Н. Ткаченко. – М.: МАКС Пресс, 2010. – 292 с.; ил. 3. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. / Г.А. Месяц. – М.: Наука, 2004. – 704 с.

Поступила в редколлегию 12.10.11

А.В. БРЕЗГУНОВ, канд. техн. наук, доцент, НТУ “ХПИ”,
С.С. КОЗЛОВ, аспирант, НТУ “ХПИ”

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ШУМОВОЙ КОМПОНЕНТЫ ОТКЛИКА КОРРЕЛЯТОРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕГАРМОНИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ КОЛЕБАНИЙ

У статті проведено обчислення значення шумової компоненти відгуку корелятора при використанні негармонійних опорних коливань.

В статье проведено вычисление значения шумовой компоненты отклика коррелятора при использовании негармонических опорных колебаний.

In the article the calculation of value of noise komponenty of response of correlating is conducted at the use of inharmonious supporting vibrations.

Для уменьшения влияния шумов каналов связи $\xi(t)$ на решение о переданном сигнале $S(t)$ в системах связи, локации и др. широко используются корреляторы [1, 2]. Уменьшение значения шумовой компоненты отклика коррелятора может быть получено при замене генератора в корреляторе с генератором опорного гармонического сигнала $S(t)$ на генератор периодической последовательности биполярных прямоугольных импульсов $S_{II}(t)$ длительностью равной полупериоду $S(t)$ («меандровой копии») на величину до 10% [1].

Цель статьи – показать возможность вычисления значения шумовой компоненты отклика коррелятора при воздействии на сигнал $S(t)$ флуктуационного гауссового шума $\xi(t)$ с центральной частотой ω_0 [2], если только начальные фазы шума $\varphi_{0\xi(t)} \pm k\pi$ ($k=0,1,2,\dots$) и переданного сигнала φ_0 , рассматриваемые на малом временном интервале Δt_i , не совпадают.

Пусть в канал связи передаётся сигнал $S(t)=A \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ длительности T_{II} , и на вход схемы на основе коррелятора 1, с генератором опорного гармонического сигнала $S(t)$, и коррелятора 2 с генератором «меандровой копии» $S_{II}(t)$ опорного сигнала при воздействии на сигнал $S(t)$ флуктуационного гауссового шума $\xi(t)$ поступает искажённый сигнал $S^*(t)=S(t)+\xi(t)$, а на выходах корреляторов 1 и 2 получаем отклики:

$$Y_{1i} = a \int_0^{T_{II}} [S^2(t) + S(t) \cdot \xi(t)] dt \quad (1)$$

$$Y_{2i} = a \int_0^{T_{II}} [S(t) \cdot S_{II}(t) + S_{II}(t) \cdot \xi(t)] dt. \quad (2)$$

Используя $\Delta E_i = Y_{1i} - Y_{2i}$, полученное для трёх пар опорных сигналов $S(t)$ и $S_{II}(t)$ с начальными фазами φ_{0i} , отличающимися от переданного сигнала по фазе на $\varphi_{01}=0^\circ$, $\varphi_{02}=90^\circ$, $\varphi_{03}=x$ (у нас $x=11,25^\circ$) и значение шумовой компонен-

ты отклика коррелятора при $\varphi_{02}=90^\circ$, вычислим значение второго слагаемого в (1), т.е. значение шумовой компоненты отклика коррелятора.

Пусть флуктуационный гауссов шум $\zeta(t)$ с центральной частотой ω_0 (без разрывов или скачков фазы) изменяется по частоте в полосе пропускания Π относительно ω_0 на величину $\pm\Delta\omega_0(t)$ и имеет амплитуду $B(t)$ ($\Pi/\omega_0 \ll 1$) [2]:

$$\zeta(t) = B(t) \cdot \sin[(\omega_0 + \Delta\omega_0(t))t + \varphi_{\zeta i}]. \quad (3)$$

Т.к. $\zeta(t)$ – узкополосный шум, то из-за небольшого значения набега фазы φ на малом интервале времени $\Delta t_i \rightarrow 0$ при изменяющейся частоте $\omega_0 \pm \Delta\omega_0(t)$ в выражении (3) будем считать, что $\pm\Delta\omega_0(t)$ незначительно влияет на конечный результат вычисления (1) и этим изменением можно пренебречь, учитывая лишь изменение фазы $\varphi_{\zeta i}$. Т.е. на малом интервале времени Δt_i

$$\zeta(t) |_{\Delta t_i} = B_i \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_{\zeta i}), \quad (4)$$

где B_i среднее значение амплитуды сигнала шума $\zeta(t)$, на интервале времени Δt_i . Тогда за длительность $T_H = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_N$:

$$\zeta(t) = B_1 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_{\zeta 1}) + B_2 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_{\zeta 2}) + \dots + B_N \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_{\zeta N}). \quad (5)$$

Пусть амплитуда $S_H(t)$ опорного сигнала равна значению 0,7071067 от амплитуды опорного сигнала $S(t)$, тогда энергии первых членов суммы в (1) и (2) будут равны. Отличия значений (1) и (2) будут определяться их вторыми членами суммы, т.е. значениями энергий E_1 и E_2 шумов, результат вычисления которых за Δt_i при использовании выражения (4) помещён в таблицу (для удобства за $\Delta t_i = 1$ с, множители $a=1$ и $B_i=1$), для различных $\pm\varphi_{\zeta i}$ от 0° до 90° (при $\pm\varphi_{\zeta i} + \pi$ знак будет отрицательным). E_3 показывает значение Y_1 , равное энергии шума E_3 (т.к. при $\varphi_{02}=90^\circ$ первый член суммы в (1) равен нулю).

Таблица. Результаты вычисления шумов

$\varphi_{\zeta i}, \text{град.}$	ΔE_1	E_1	E_2	E_3	ΔE_2	ΔE_3
0	0	0,5	0,5	0	0,5	0,0073053
11,25	0,0073053	0,4903926	0,4830873	0,0954516	0,0078616	0
22,5	0,022338	0,4619398	0,4397014	0,1913417	0,0196268	0,0073053
33,75	0,0143013	0,4157348	0,40144	0,2777851	0,0277551	0,0223383
45	0,0083633	0,3535533	0,34519	0,3535533	0,0083633	0,0143013
56,25	0,0277551	0,2777851	0,2492908	0,4157348	0,0143013	0,0083633
67,5	0,0196268	0,1913417	0,1717149	0,4619398	0,0223383	0,0277551
78,75	0,0078616	0,0954516	0,0875	0,4903926	0,0073053	0,0196268
90	0	0	0	0,5	0	0,0078616

Из табл. 1 видно, что три результата: разность энергий E_1 (интеграл $S(t) \cdot \zeta(t)$ за Δt_i) и E_2 (интеграл $S_H(t) \cdot \zeta(t)$ за Δt_i) $\Delta E_1 = E_1 - E_2 = Y_1 - Y_2$, разность энергий $\Delta E_2 = Y_1 - Y_2$ при $\varphi_{02}=90^\circ$, и разность энергий $\Delta E_3 = Y_1 - Y_2$ при $\varphi_{02}=11,25^\circ$ являются уникальным кодом, однозначно определяющим значение $\varphi_{\zeta i}$. Так же результат E_3 однозначно определяет значение $\varphi_{\zeta i}$.

Таким образом, имея в заранее подготовленной таблице значения ΔE_1 ,

ΔE_2 и ΔE_3 или E_3 для всех необходимых $\varphi_{\xi i}$, можно для множителей $a=1$, $B_i=1$ и $\Delta t_i=1$ с определить значение шумовой компоненты отклика коррелятора E_1 . Т.к. значения множителей a и B_i обычно неизвестны и $\Delta t_i \neq 1$ с, и все значения ΔE_1 , ΔE_2 , ΔE_3 и E_3 строки таблицы будут отличаться от реальных ΔE_1^* , ΔE_2^* и ΔE_3^* или E_3^* только масштабным множителем χ_i , то значение шумовой компоненты отклика коррелятора с их учётом E_1^* можно получить подбором χ_i :

$$E_1^* = E_1 / \chi_i, \quad (6)$$

где E_1 – значение, взятое из таблицы 1.

Т.е. значения ΔE_1^* , ΔE_2^* , ΔE_3^* и E_3^* параллельно умножаются на χ_i и сравниваются с ΔE_1 , ΔE_2 , ΔE_3 и E_3 и изменяя χ_i в заданных пределах, пока не получим значения строки таблицы 1:

$$\Delta E_1 = \chi_i \Delta E_1^*, \Delta E_2 = \chi_i \Delta E_2^*, \Delta E_3 = \chi_i \Delta E_3^* \text{ и } E_3 = \chi_i E_3^*. \quad (7)$$

Подбор χ_i в настоящее время не является сложной вычислительной задачей, которая может быть решена для определённых скоростей передачи сигналов в реальном масштабе времени.

Определим максимальное значение интервала времени Δt_i , учитывая, что в корреляционной схеме подавление шумов в основном определяется отличием их фазы от фазы опорного колебания. Найдём значение набега фазы за время Δt_i при начальном значении частоты шума $\zeta(t)$ ω_B – верхнее значение полосы пропускания тракта и ω_H – нижнее значение полосы пропускания тракта, т.е. когда набег фазы наибольший.

Определим время Δt_i , за которое энергия $S_i(t) \cdot \zeta(t)$ изменится на незначительную величину ε .

1. Пусть за время Δt_i значение частоты шума неизменно. Тогда запишем для верхнего значения ω_B

$$S_i(t) \cdot \zeta(t)|_{\Delta t_i} = 0,5 A_i \cdot B_i \cdot \{ \cos[(\omega_B - \omega_0)t + \varphi_{\xi i} - \varphi_0] - [\cos(\omega_B + \omega_0)t + \varphi_{\xi i} + \varphi_0] \}. \quad (8)$$

Значение первого члена суммы (8) – это низкочастотное колебание. После интегрирования в (1) значение второго члена суммы (8) будет стремиться к нулю (и равно нулю при равном количестве положительных и отрицательных полупериодов частоты $\omega_B + \omega_0$).

Число периодов n колебаний для верхнего значения ω_B :

$$n = \omega_B t = \omega_0 t + 2\pi l,$$

где l – количество частей периодов ω_0 , т.е. значение набега фазы в частях периода (0,5 0,25 0,75 и т.д.), набег фазы $l_i=1$ соответствует набегу фазы $\psi_i=2\pi$ ($\psi=2\pi l$). Тогда набег фазы для ω_H найдём из:

$$\omega_H t = \omega_0 t - l, \text{ или } \psi = 2\pi (\omega_0 - \omega_H)t = \pi \Pi t.$$

Набег фазы для ω_B :

$$\psi = 2\pi (\omega_B - \omega_0) t = \pi \Pi t.$$

При $\psi=11,25^\circ$ ($\pi/16$) энергия $E_{S(t) \cdot \xi(t)}$ $S_i(t) \cdot \xi(t) = \sin(\omega_o t) \sin(\omega_o t + \pi/16)$ уменьшится относительно $\psi=0^\circ$ на $\varepsilon < 1,93\%$ за $\Delta t_i = 1/16\pi$, а при $\psi=22,5^\circ$ ($\pi/8$) за $\Delta t_i = 1/8\pi$ $\varepsilon < 7,62\%$. Но, если $\psi=78,75^\circ$, то $E_{S(t) \cdot \xi(t)}$ уменьшится относительно $\psi=67,5^\circ$ на $\varepsilon \approx 50\%$, однако здесь $E_{S(t) \cdot \xi(t)}$ будет в $n > 5$ раз меньше $E_{S(t) \cdot \xi(t)}$ при $\psi=0^\circ$.

2. Нетрудно убедиться, что при линейном изменении частоты или при постоянных значениях частот $(\omega_0 - \omega_H)/2$ и $(\omega_0 + \omega_H)/2$:

$$\psi = \pi (\omega_0 - \omega_H)t = \pi Pt/2 \text{ и } \psi = \pi (\omega_0 + \omega_H)t = \pi Pt/2.$$

Т.е. здесь за $t_i = 1/8\pi$ $\varepsilon < 1,93\%$, а за $\Delta t_i = 1/4\pi$ $\varepsilon < 7,62\%$.

Понятно, что чем меньше значение Δt_i тем меньше ε . Т.к. реально частота шума $\xi(t)$ изменяется и флуктуирует обычно не по линейному закону, то значение Δt_i может быть выбрано равным:

$$\Delta t_i \leq 1/(16\pi \dots 32\pi) \quad (9)$$

Таким образом, выбрав Δt_i согласно (9), получив значения ΔE_1^* , ΔE_2^* , ΔE_3^* и E_3^* , подобрав χ_i и получив значение шумовой компоненты отклика коррелятора, можно получить скорректированный результат $Y_{1 \text{ КОР } i}$. Сложив эти результаты за время T_H , и вычтя из (1), получим скорректированный результат $Y_{1 \text{ ТИ КОР}}$:

$$Y_{1 \text{ ТИ КОР}} = Y_1 - \sum_{i=1}^N Y_{1 \text{ КОР } i} \quad (10)$$

Выводы. 1. Используя три схемы на основе двух корреляторов, с генератором «меандровой копией» $S_H(t)$ опорного сигнала и с генератором опорного гармонического сигнала $S(t)$, при воздействии на сигнал $S(t)$ флуктуационного гауссового шума $\xi(t)$ можно вычислить значения шумовой компоненты отклика коррелятора, кроме случая когда шум и переданный сигнал, рассматриваемые на малом временном интервале Δt_i синфазны или противофазны.

2. Внедрение рассмотренного подхода «очистки» сигнала от шума, для высокоскоростных каналов сдерживается временными затратами на получение значения масштабного множителя χ_i .

3. Погрешность значения шумовой компоненты отклика коррелятора в основном зависит от выбора временного интервала Δt_i , шага дискретизации значений начальной фазы φ_{ξ_i} шума на временном интервале Δt_i и точности измерений значений ΔE_1^* , ΔE_2^* , ΔE_3^* и E_3^* .

Список литературы: 1. Брезгунов А.В. Выбор схемы коррелятора / А. В. Брезгунов, Н. П. Кириченко // 36. науч. прашь. – Х. : УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 98. – С. 23-26. 2. Радиотехнические цепи и сигналы : Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника»/ С. И. Баскаков. – 5-е изд. – М.: Высш. шк., 2005. – 462 с.

Поступила в редакцию 15.10.2011

О. Г. ВАСИЛЬЧЕНКОВ, канд. техн. наук, доц. каф. АУТС НТУ «ХПІ»
К. В. ЛИМАНСЬКА, студентка НТУ «ХПІ»

АППАРАТ ДЛЯ ВОСТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

У статті розглянуті питання швидкого відновлення працездатності людини за допомогою впливу діадинамічних токів, та приведений приклад пристрою, що здійснює вплив на ЦНС, та при цьому викликає стан сну, який призводить до відновлення емоційної, вегетативної та гуморальної рівноваги, а також знімає втому, має знеболюючу дію, та може бути використаний при різноманітних захворюваннях.

В статье рассмотренные вопросы быстрого возобновления работоспособности человека с помощью влияния диадинамических токов, и приведенный пример устройства, которое осуществляет влияние на ЦНС, и при этом вызывает состояние сна, которое приводит к возобновлению эмоционального, вегетативного и гуморального равновесия, а также снимает усталость, имеет обезболивающее действие, и может быть использован при разнообразных заболеваниях.

The questions quick restoration of rights by influencing diadinamichnyh flows, and an example of a device having a bearing on the central nervous system, and When This causes a state of sleep, which leads to the restoration of emotional, autonomic and humoral balance, and fatigue, has analgesic effect and can be used in a variety of diseases.

Ключевые слова: импульсный ток, электросон, микроконтроллер, головной мозг, электротерапия.

Постановка проблемы. Вопрос восстановления жизненных сил организма имеет большое практическое значение. Напряженный характер профессиональной деятельности современного человека зачастую оказывает значительное влияние на его эмоциональное состояние. Серьезность отрицательных последствий эмоциональных перенапряжений определяет актуальность исследования методов по ее восстановлению. Поэтому разработка аппарата для диадинамотерапии и в частности для электросна является целесообразной.

Анализ литературы: В работе [1] представлена зарубежная и отечественная аппаратура, описано лечебное применение импульсного тока в работах [2, 3] наиболее применяемые методики воздействия на организм человека. Из зарубежных ЭЭГ устройств наиболее распространены аппараты фирм *DYADYNE*, *NEODIADYNE 2000*. На отечественном рынке лидируют аппараты фирм *Электросон-ІП*, *Адаптон СЛИП*, *ЭТЕР*. На основании обзора и анализа технических характеристик существующих терапевтических устройств можно сделать вывод, что они не достаточно универсальны, дорого стоят, что подчеркивает актуальность разработки.

Цель статьи – показать актуальность проблемы восстановления жизненных сил организма и способы решения этой проблемы на современном этапе развития электронной аппаратуры.

На современном этапе развития общества, все более актуальной становится проблема поиска методов и способов для восстановления жизненных сил организма человека. Проблема утомления считается актуальной общебиологической проблемой, представляет большой теоретический интерес и имеет важное практическое значение для деятельности человека в труде и повседневной жизни. Современная физиотерапия располагает большим арсеналом природных и искусственных физических факторов, обладающих выраженной физиологической и терапевтической активностью.

Электротерапия (электролечение) – применение с лечебно-профилактическими и реабилитационными целями электрических токов, электрических и электромагнитных полей различных параметров в непрерывном и импульсном режимах. Это один из самых больших разделов современной аппаратной физиотерапии, который постоянно развивается и совершенствуется вместе с развитием физики, радиоэлектроники, экспериментальной и клинической медицины. Электрическую энергию с лечебной целью начали применять значительно раньше, чем научились ее искусственно получать.

Современный технический прогресс обогатил медицину не только новой электроаппаратурой, но и новыми методами, а также способствовал совершенствованию известных методов электролечения и представлений о механизмах их физиологического и лечебного действия. В настоящее время с лечебной целью используются практически все известные электрические токи, электромагнитные поля и их составляющие.

В зависимости от вида используемой электрической энергии, режима действия и способа применения выделяют следующие методы электротерапии: основанные на использовании постоянного и импульсного тока, методы использующие переменный электрический ток, а также комбинация постоянного, импульсного и переменного тока.

Методы электротерапии нашли наибольшее применение в лечении самых различных заболеваний. Это обусловлено, прежде всего, тем, что жизнедеятельность различных тканей, органов и отдельных клеток тесно связана с протекающими в них электрическими процессами, которые при их нарушении могут быть восстановлены с помощью внешних воздействий. Воздействие электротерапевтическими токами ведет к улучшению кровообращения, микроциркуляции, обмена веществ, нейрогуморальной регуляции и нарушенных иммунных процессов, обладает болеутоляющим, сосудорегулирующим и противовоспалительным действием.

В медицине многих стран особо широкое распространение имеет применение импульсных электрических токов, магнитного и электрического поля

УВЧ, микроволн, электрофореза, лекарственных веществ и в меньшей степени различные способы магнитотерапии.

Рассмотрим функциональную схему аппарата для физиотерапии. Важно, что в приборе имеется два канала, что предоставляет возможность одновременно проводить процедуру двум пациентам. Кроме лечения сном устройство позволяет применять его и в физиотерапевтических кабинетах, где используются различные виды импульсных последовательностей, которые вырабатываются этим прибором, что приводит к улучшению кровообращения, обменных процессов и обезболиванию.

Прибор состоит из таких основных узлов: микроконтроллера, устройства управления, устройства индикации, усилителей, а также имеется порт связи с ПК. Формирование импульсов определенной длительности, амплитуды, частоты осуществляется программным способом.

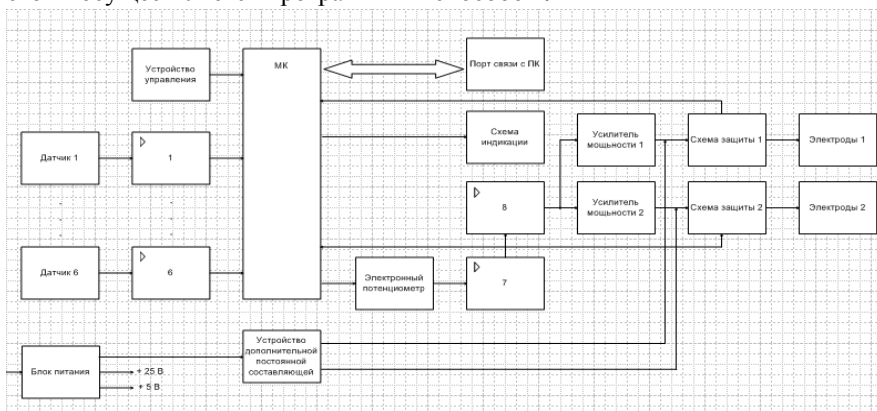


Рис. Функциональная схема аппарата для электросна

Для оперативного управления формой, амплитудой и другими параметрами импульсных последовательностей применено устройство управления. Для контроля за состоянием пациента применены датчики, сигналы с которых минимальной амплитуды, усиливаются с помощью усилителей. Для контроля амплитуд, которые формируются МК необходимо устройство индикации, на которое с помощью устройства управления выводятся параметры импульсных последовательностей. В связи с тем, что выходные сигналы МК являются слаботочными, их усиливаем с помощью выходных усилителей.

Т.к. объектом, к которому подводятся эти импульсные последовательности, является человек, то для безопасности пациента от поражения электрическим током применено устройство защиты, которое ограничивает выходной ток и отключает выходное напряжение при возникновении сбоев в работе устройства. Для записи и анализа параметров сигналов, снимаемых с датчиков, необходимо иметь возможность вывода и записи этой информации на ПК для дальнейшей обработки полученной информации. Питание устройства

осуществляется от сети переменного напряжения 220В 50 Гц, а также прибор имеет возможность подключения автономного питания от батареи +24 В.

Схема аппарата состоит из микроконтроллера (АТ90S2313), усилителей сигналов с датчиков (АD8544), усилителя сигналов сформированных МК реализован (МСР601), регулирующий элемент на микросхеме (МСР41010).

Программное обеспечение для управления микроконтроллером предоставляет возможность формирования до десяти различных видов импульсных последовательностей определенной длительности, частоты и амплитуды. Это дает возможность использовать устройство для нормализации функционального состояния ЦНС, получение болеутоляющего эффекта при воздействии на периферическую нервную систему, усиления кровообращения, достижения противовоспалительного эффекта и нормализации функций многих органов и систем.

Аппарат предназначен для замены фармакологических препаратов анальгетического и седативного действия, при различных стрессовых состояниях, для усиления процессов адаптации, снижения утомляемости, улучшения самочувствия и настроения больного и восстановления общей работоспособности организма человека в производственных и стрессовых условиях.

Кроме того, по своим характеристикам электросон достаточно близок к естественному сну. Он также сильно отличается от медикаментозного сна. Очень важно, что данная процедура не дает осложнений и не приводит к интоксикациям.

Все рассмотренные методы по восстановлению работоспособности организма человека основанные на использовании всевозможные видов импульсных последовательностей формирования электрического тока. Сейчас начали широко разрабатываться аппараты для комплексного последовательного или сочетанного воздействия различными факторами. Это соответственно делает устройство более универсальным, сочетающимся с технической упрощенностью и невысокой стоимостью.

Использование современных технологий позволяет автоматизировать и упростить работу медицинского персонала. Использование ПК для отображения, регистрации и исследования электрических потенциалов коры головного мозга открывает новые возможности для дальнейшей работы специалистов в этой области. головного мозга открывает новые возможности для дальнейшей работы специалистов в этой области.

Список литературы: 1. Боголюбов В.М., Пономаренко Г.Н. Общая физиотерапия. – Москва: 1998. 2. А.М. Гурленя, Г.Е. Багель, В.Б. Смычек – Физиотерапия в неврологии. – 2008. 3. Ушаков А.А. Практическая физиотерапия. – 2009.

Поступила в редакцию 03.10.2011

УДК 621.311

Ю.Н. ВЕПРИК, д-р. техн. наук, НТУ «ХПИ», Харьков,
С.Н. ЛЕБЕДКА, Сумской государственный университет, Сумы

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СРЕДСТВ КОМПЕНСАЦИИ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 кВ

У роботі представлені результати досліджень електромагнітних перехідних процесів в електричних мережах 6-10 кВ з різними режимами нейтралі і ефективності вживаних засобів обмеження ємкісних струмів і перенапружень при однофазних замиканнях на землю.

В работе представлены результаты исследований электромагнитных переходных процессов в электрических сетях 6-10 кВ с различными режимами нейтрали и эффективности применяемых средств ограничения емкостных токов и перенапряжений при однофазных замыканиях на землю.

The results of researches of electromagnetic transients are in-process presented in electric networks 6-10 kV with the different modes of neutral and efficiency of the applied facilities of limitation of capacity currents and overstrains at monophase ground-faults.

Постановка проблемы. В Украине сети 6–10 кВ работают либо с изолированной нейтралью, либо с компенсацией емкостного тока замыкания на землю. Причем работают в условиях, когда какие-либо средства ограничения токов и напряжений при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) практически отсутствуют, поэтому высокая аварийность характерна как для тех, так и для других сетей. Отрицательные последствия ОЗЗ в электрических сетях с изолированной нейтралью тем значительнее, чем протяженнее сеть и, соответственно, чем больше значения емкостных токов, протекающих по сети и в месте повреждения. Поэтому одним из средств предотвращения или хотя бы снижения этих последствий является компенсация емкостных токов замыкания. Индуктивность, обеспечивающая компенсацию, включается в нейтраль дополнительного трансформатора, и при настройке индуктивного сопротивления реактора в резонанс с емкостным сопротивлением сети обеспечивается компенсация емкостных токов. Однако эффект от практической реализации этого на первый взгляд простого решения проблемы оказывается, как свидетельствуют публикации, далеко не всегда положительным.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы о том, какие средства ограничения токов ОЗЗ и перенапряжений использовать, как выбирать их параметры и др. активно обсуждаются, но предлагаемые их решения во многих из опубликованных работ основаны, как правило, на результатах исследований протекающих переходных процессов по упрощенным эквивалентным схемам замещения сетей, применение которых приводит к тому, что результаты теоретических исследований, выполненных разными авторами и организациями, противоречивы.

Опыт же практического использования предлагаемых средств показывает, что в зависимости от конкретных условий реализации эффект от применения каждого из них оказывается либо положительным, либо отрицатель-

ным. [1,2] Такую ситуацию следует рассматривать как свидетельство того, что принципиальная возможность применения соответствующих средств имеется (при наличии положительных результатов), но необходима работа по выявлению и уточнению условий, при которых применение того или иного способа может дать положительный эффект.

А отрицательный опыт применения тех или иных средств можно рассматривать и как результат неправильного их использования, и как свидетельство того, что вопросы выбора средств ограничения и режима нейтрали еще недостаточно изучены. Поэтому сообщения о том, что для настройки ДГР «перепробованы все известные принципы регулирования (амплитудный, фазовый, ШИМ-модуляции, непрямоугольной частоты и др.), однако ни один не дал искомым результатов» [3] можно рассматривать как подтверждение необходимости в разработке более точных и адекватных моделей для поиска эффективных средств ограничения токов и перенапряжений при ОЗЗ в электрических сетях 6–10 кВ.

Цель, задачи исследования. Для определения путей повышения эффективности средств ограничения перенапряжений и токов при ОЗЗ в кабельных сетях 6–10 кВ необходимо выяснить причины низкой эффективности тех средств, которые применяются. Упрощенными моделями на основе однофазных эквивалентов, не отражающими целый ряд особенностей как самих сетей, так и протекающих в них переходных процессов, эта задача не решается. Базовая модель [4], основанная на представлении элементов сети не однофазными эквивалентами, а трехфазными многополюсниками и уравнениями в фазных координатах, позволяет учитывать реальную конфигурацию сети, параметры элементов сети (активные сопротивления, собственные и взаимные индуктивности и емкости фаз) и параметры ее режима (токи, напряжения, мощности фаз), способ заземления нейтрали и воспроизводить электромагнитные переходные процессы при симметричных и несимметричных повреждениях в электрических сетях произвольной конфигурации. Поэтому с целью выявления факторов, снижающих эффективность применяемых средств ограничения емкостных токов и перенапряжений, исследования режимов работы кабельных сетей 6–10 кВ выполнены с применением этой модели.

Основной материал исследований. В сетях с изолированной нейтралью и при их небольшой протяженности (до 10–20 км) ток однофазного замыкания составляет всего несколько ампер, замыкание фазы на землю в одной точке не является аварийным режимом, не требует немедленного отключения, и при емкостных токах до 10–30 А допускается ПУЭ в течение некоторого времени, достаточного для принятия мер по его устранению. Однако по мере развития электрических сетей их протяженность увеличивается и исторически сложившаяся ситуация состоит в том, что с изолированной нейтралью продолжают работать сети с суммарной протяженностью до 80–90 км. Поэтому для выявления условий работы оборудования при ОЗЗ в исследова-

ниях электромагнитных переходных процессов в сетях с изолированной нейтралью принят диапазон длин от 20 до 90 км.

Для определения основных влияющих факторов, степени влияния этих факторов и для оценки возможности повышения эффективности применяемых средств, а также для иллюстрации возможностей разработанных программных средств ниже в качестве расчетных рассмотрены четыре характерных схемы, различающихся суммарной длиной кабельных линий (табл.).

Таблица. Схемы, с различной суммарной длиной кабельных линий

Номер схемы	Суммарная длина, км	Эквивалентное сопротивление, Ом	Ток ОЗЗ, А	Количество узлов
1	21,5	$5,0 - j637,0$	$0 + j15$	21
2	41,6	$8,1 - j220,2$	$3 + j45$	54
3	62,5	$8,8 - j140,1$	$9 + j72$	76
4	85,3	$8,9 - j103,9$	$15 + j96$	93

Суммарные длины кабельных сетей в схемах (от 20 до 90 км) охватывают диапазон изменения протяженности реальных сетей. В каждой из схем кроме основного силового трансформатора имеется дополнительный трансформатор со схемой соединения обмоток Y/Δ , нейтраль которого может быть изолирована или заземлена через реактор (резонансно-заземленная нейтраль).

Для каждой из схем с учетом ее реальной конфигурации с применением разработанной математической модели выполнены расчеты электромагнитных переходных процессов при ОЗЗ. Моделирование переходных процессов выполнено путем численного интегрирования систем дифференциальных уравнений неявными методами, порядок решаемых систем дифференциальных уравнений равен утроенному количеству трехфазных узлов сети, в процессе численного интегрирования определяются мгновенные значения напряжений и токов (в виде цифrogramм) во всех узлах и ветвях сети, шаг интегрирования $h = 0,05\text{--}0,1$ мс. В расчетах варьировались: режим нейтрали (изолированная, резонансно заземленная), величины сопротивлений реактора, сопротивление в точке замыкания, удаленность от шин источника питания для исследования влияния этих факторов на токи ОЗЗ, на уровни перенапряжений, эквивалентное сопротивление сети, напряжение смещения нейтрали. Значения сопротивлений реактора в нейтрали изменялись от нуля до бесконечности, чем охватывается весь возможный диапазон режимов нейтрали – глухозаземленная (при $Z_n = 0$), компенсированная (при $I_3 = 0$), изолированная (при $Z_n = \infty$).

По оси абсцисс на цифрограммах (рис. 1-3) откладывается номер шага интегрирования h , по оси ординат – токи (кА) и напряжения (кВ). Поврежденной принята фаза А.

В сети с изолированной нейтралью токи замыканий на землю в установившихся режимах ОЗЗ зависят от протяженности сети и достигают значений: для некомпенсированной сети протяженностью 23,1 км – 25 А, длиной 41,3 км – 70 А, длиной 60,6 км – 100 А, длиной 81,5 км – 160 А. Протяженность сети и начальная фаза замыканий на землю существенно влияют и на величину начальных импульсов тока в момент замыкания: в зависимости от фазы напряжения в момент возникновения однофазного замыкания начальные импульсы тока с увеличением протяженности сети изменяются от 200А до 1100А.

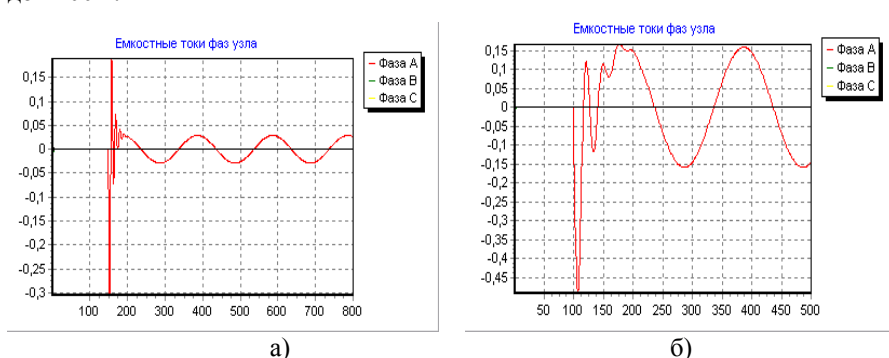


Рис. 1. Токи ОЗЗ в схемах №1 (а), и № 4 (б)

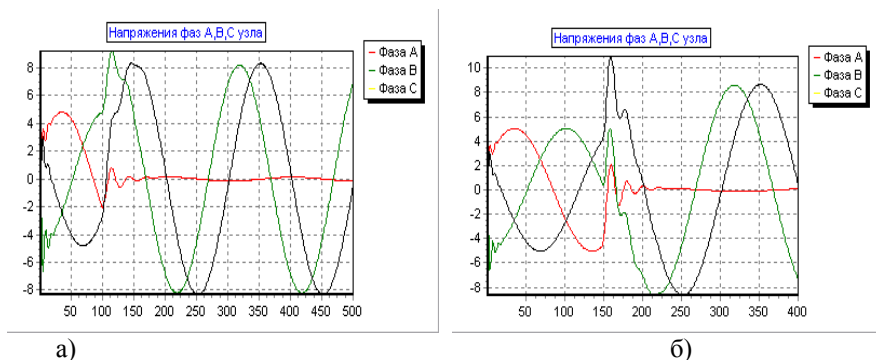


Рис. 2. Перенапряжения на шинах ПС схемы № 3 при ОЗЗ (а) и в схеме № 4 (б)

Перенапряжения в сети (рис. 2) при возникновении замыкания при вариациях степени удаленности точек замыкания, начальных моментов коммутаций, и с увеличением суммарной длины кабельных линий (от 23,1 км до 81,5 км) достигают величины порядка 9–11 кВ (до 2,5 U_{ϕ}). При повторных зажиганиях дуги перенапряжения с каждым новым замыканием сначала увеличи-

ваются, затем, после 3-4 зажиганий стабилизируются. Импульс тока при изменении удаленности от источника питания изменяется от 1,1 кА до 3,2 кА, напряжение фаз после гашения дуги – от 12,1 кВ до 16 кВ (до $4,6 U_{\phi}$).

В схеме № 4 при изолированной нейтрали эквивалентное сопротивление равно 103,9 Ом (табл. 1) и ток ОЗЗ – 100 А (действующее значение). При изменении сопротивления реактора в нейтрали от 0 до 1000 Ом (рис. 3) ток по мере приближения к резонансу снижается и при дальнейшем увеличении $X_p > 104$ Ом стремится к значению 100 А.

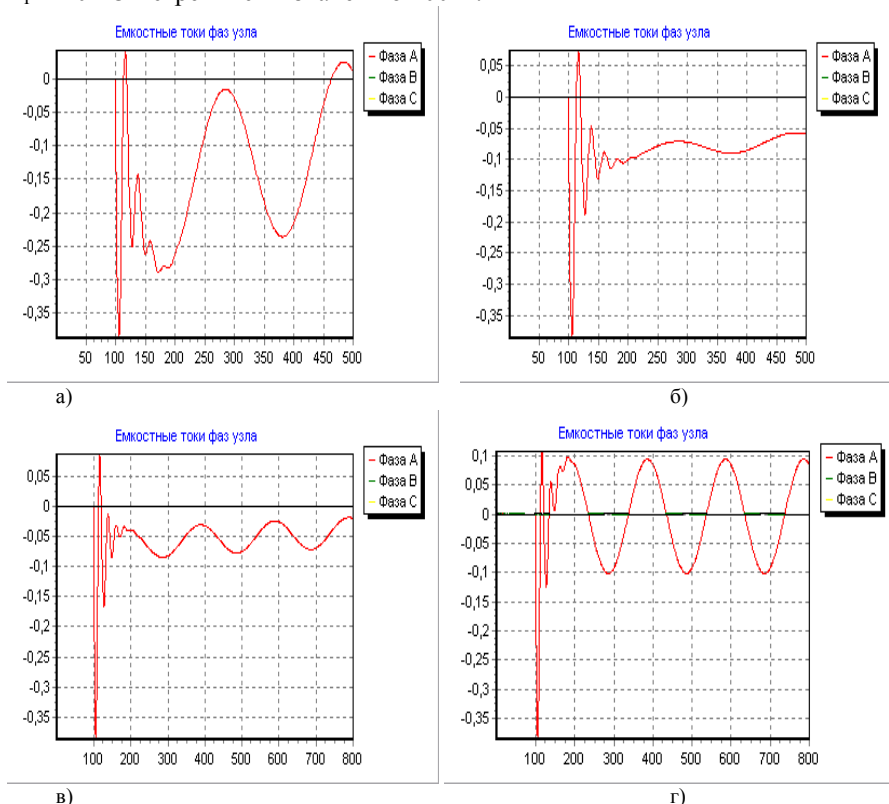


Рис. 3. Переходные процессы в сети № 4 с ДГР: а) $X_p = 20$ Ом; б) $X_p = 40$ Ом; в) $X_p = 60$ Ом; г) $X_p = 300$ Ом

Представленные цифrogramмы приведены для иллюстрации того, что заземление нейтрали трансформатора через ДГР и его резонансная настройка обеспечивают теоретическую возможность уменьшения емкостного тока через место повреждения и перенапряжений в сети.

Для выяснения причин, по которым эта теоретическая возможность не всегда реализуется в условиях реальной эксплуатации, для каждой из 4 принятых расчетных схем выполнены расчеты режимов ОЗЗ, определены экви-

валентные сопротивления сети, токи в месте замыкания и в нейтрали, напряжения нейтрали при изменении сопротивления ДГР от 0 до 1000 Ом. Результаты расчетов в виде графиков основных зависимостей представлены на рис. 4–5.

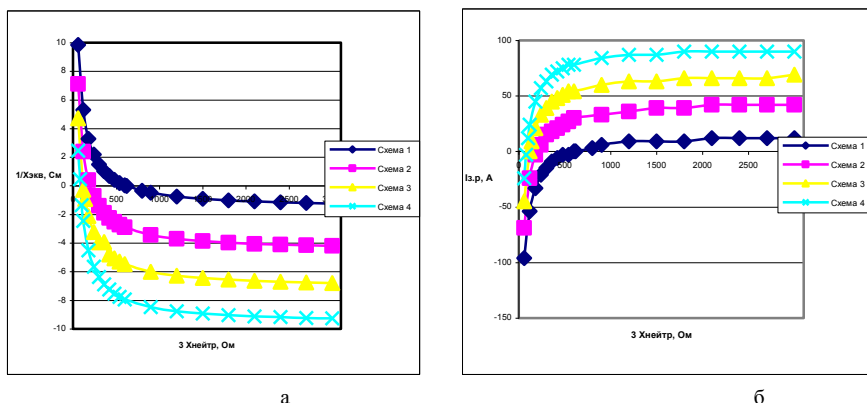


Рис. 4. Зависимость $1/X_{\text{ЭКВ}}^{(0)}$ (а) и реактивной составляющей тока в месте замыкания (б) от реактивного сопротивления в нейтрали

При включении в нейтраль реактора и увеличении его сопротивления емкостные токи и эквивалентные проводимости по мере увеличения X_p снижаются до нуля (эквивалентные сопротивления увеличиваются до ∞) и при наступлении резонанса при условии $3\tilde{O}_D = \tilde{O}_{y\bar{e}\bar{a}}^{(0)}$ меняют знак (рис. 4. а, б).

Ток в нейтрали по мере увеличения X_p снижается до нуля, напряжение нейтрали (рис. 5) возрастает до фазного, причем при изменении протяженности сети эти зависимости практически не изменяются.

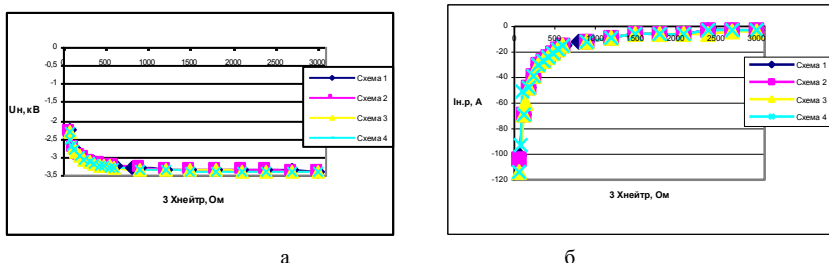


Рис. 5. Зависимость напряжения смещения нейтрали (а) и реактивной составляющей тока в нейтрали (б) от реактивного сопротивления в нейтрали

Представленные результаты, кроме того, что подтверждают еще раз – по полной модели и для схем произвольной конфигурации – возможность обеспечения резонансной настройки, позволяют выяснить факторы, которые снижают эффективность ее практической реализации и являются причиной того, что реализация этого способа нейтрали не дает желаемого эффекта.

Во-первых, следует отметить, что кривые на рис. 5 в окрестности резонансных значений X_p тем круче, чем более протяженной является сеть (в протяженной сети малые изменения значений X_p приводят к значительным изменениям эквивалентного сопротивления сети и тока через реактор). Это означает, что требования к точности обеспечения резонанса и, соответственно, к устройствам автоматической настройки ДГР с увеличением суммарной емкости сети также возрастают. Это может служить причиной того, что ДГР и регуляторы, которые в сетях небольшой протяженности еще обеспечивают настройку на резонанс, в протяженных сетях становятся мало эффективными, и для обеспечения резонанса необходимо разрабатывать более совершенные средства.

Во-вторых, важно отметить также и то, что напряжение нейтрали в окрестности резонансных значений X_p (рис. 6а) отличается от фазного, и отличие напряжения нейтрали от фазного тем значительнее, чем меньше эквивалентное сопротивление сети (опять же – чем протяженнее сеть). Отличие напряжения от фазного не учитывается при определении емкостного тока ОЗЗ методом искусственного смещения нейтрали от дополнительного источника напряжения – **емкостный ток замыкания на землю определяется по формуле**

$$I_{i_{\text{сз}}} = I_{\text{сз}} \frac{U_{\delta}}{U_{\text{ф}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{изм}}$ – ток, измеренный амперметром; $U_{\text{ф}}$ – фазное напряжение сети; $U_{\text{ист}}$ – напряжение источника, поданное в нейтраль заземляющего трансформатора. **Пересчет измеренного тока по формуле (1) в предположении, что напряжение в нейтрали трансформатора в режиме ОЗЗ будет равно фазному напряжению сети,** дает неверный результат, причем погрешность тем выше, чем более протяженной является сеть. При настройке ДГР по току в соответствии с (1) резонанс не может быть обеспечен (а если еще учесть зависимости рис. 6, то тем более). Поэтому представляется, что методики определения емкостных токов и настройки дугогасящих реакторов [5] требуют доработки и уточнения.

В сложившейся ситуации следует считать, что недостатки и аварийность электрических сетей с резонансным заземлением обусловлены, скорее всего, не тем, что неэффективна компенсация емкостных токов как метод улучшения показателей функционирования электрических сетей, а не эффективны средства его технической реализации, и решение проблем нужно искать на пути совершенствования этих средств.

Разработка, изготовление и эксплуатация новых средств требуют значительных затрат. Однако, решая вопрос о том, насколько и какие затраты оправданы, следует иметь в виду, что среди потребителей первой категории имеется достаточно большое число предприятий и технологических процессов (в нефтедобыче, химии, горно-обогатительных производствах,

металлургии, целлюлозно-бумажной промышленности и др.), настолько чувствительных к перерывам электроснабжения, что даже кратковременные перерывы питания (на десятые доли секунды) могут приводить к тяжелым последствиям – нарушению непрерывного технологического процесса, остановке производства, повреждению оборудования, риску для жизни и здоровья людей, угрозе для окружающей среды. В таких ситуациях сети с резонансным заземлением нейтрали дают возможность сохранить нормальную работу на время, необходимое для того, чтобы обеспечить, например, безаварийную остановку технологического процесса. Если исходить из того, что областью применения электрических сетей с резонансно заземленной нейтралью является электроснабжение и таких потребителей, то средства ограничения нужно совершенствовать, и затраты, даже самые дорогостоящие (по сравнению с ущербами от перерывов) экономически оправданы.

Выводы.

1. Необходимость совершенствования резонансного заземления нейтрали и средств настройки на резонанс обусловлена наличием электроприемников, не допускающих даже кратковременных перерывов электроснабжения (по технологическим причинам, по требованиям безопасности).

2. Принятие правильных решений, направленных на повышение эффективности применяемых средств возможно только на пути разработки и применения полных моделей, позволяющих повысить точность исследований при определении свойств и характеристик сетей и выборе параметров оборудования.

Список литературы: 1. *Дергилев М.П.* Неснижаемые кратности перенапряжений с сети 6-35 кВ с резистивным заземлением нейтрали / М.П. Дергилев, В.К. Обабков // *Электротехника* – 2010 год. Перспективные виды электротехнического оборудования для передачи и распределения электроэнергии: VIII симпозиум, Моск. обл., 24–26 мая 2005 г.: сб. докл. – М.: ВЕИ, 2005. – Доклад 1.14. 2. *Коновалов Е.Ф.* Работа сетей напряжением 6–35 кВ с различными способами заземления нейтрали / Е.Ф. Коновалов, Н.В. Дроздов, Т.В. Захарова // *Энергетик*. – 2005. – № 4. – С. 40–41. 3. *Миронов И.А.* Проблемы выбора режимов заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ / И.А. Миронов // *Электро*. – 2006. – № 5. – С. 32–36. 4. *Венрик Ю.Н.* Методы моделирования режимов работы электрических систем с несимметрией и тенденции их развития. Вісник Національного технічного університету ‘Харківський політехнічний інститут’. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: ‘Енергетика: надійність і енергоефективність’. – Харків: НТУ ‘ХПІ’. 2010. № 1 – с. 48–61. 5. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6–35 кВ. – К.: НИИ Энергетики, 1998. – 64 с.

Поступила в редколлегию 05.11.11

В.К. ГУСЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, професор НТУ “ХПІ”,
К.О. БРЕУС, студентка НТУ “ХПІ”

ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЇ З ДИСТАНЦІЙНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ІНФОРМАЦІЇ

Стаття присвячена розробці вимірювача параметрів вібрації (а саме – віброприскорення, віброшвидкості і вібропереміщення), з можливістю передачі результатів виміру на відстань. У статті описаний принцип роботи приладу та наведена структурна схема приладу.

Статья посвящена разработке измерителя параметров вибрации (а именно – виброускорение, виброскорости и виброперемещения), с возможностью передачи результатов измерения на расстояние. В статье описанный принцип работы прибора и приведена структурная схема прибора.

Paper develops a meter vibration parameters (namely - vibration acceleration, vibration velocity and vibration displacement) with the possibility of transferring the results of measurement for distance. This article describes the principle of the device and block diagram of the device is shown.

Однією з актуальних проблем сучасної техніки являється вимірювання параметрів вібрації. Сьогодні не можна назвати практично жодного об'єкта контролю або виробничого процесу, який не відчував би вплив вібраційних, ударних або акустичних навантажень. Дослідження коливальних процесів становлять великий інтерес для всіх галузей народного господарства – металургії, енергетичного машинобудування, ракетної техніки і т. д.

У цей час більшість вимірів вібраційних процесів здійснюється за допомогою датчиків вібраційних прискорень (акселерометрів), а прискорення перетворюють у віброшвидкість, вібропереміщення електричними методами. В даній статті приведено приклад розробки вимірювача параметрів вібрації на основі п'єзоакселерометра. Прилад дозволить вимірювати вібропереміщення, віброшвидкість і віброприскорення. Ще однією відмінністю є можливість передачі результатів виміру на відстань. Поєднання аналогової та цифрової частин дозволяє створити прилад актуальний для сьогоднішнього часу як в економічному, так і в технічному плані.

Форма і частотний склад вібраційних процесів визначається характером збуджуючих сил і передачею цих збуджень до того місця, де розташовується первинний вимірювальний перетворювач. У більшості випадків форма сигналу має вигляд складних коливань, які містять детерміновану і випадкову складові вібраційного процесу. Як форма, так і спектральний склад залежать від вимірюваного параметра вібрацій. На практиці вимірюють переміщення, швидкість чи прискорення.

Вібрація характеризується частотою f , тобто числом коливань в секунду (Гц), амплітудою A , тобто зсувом хвиль, або висотою підйому від положення рівноваги (мм), швидкістю V (м / с) - швидкість руху точки або системи під дією вібрації, і прискоренням - прискорення руху точки або системи під дією

вібрації. Весь діапазон частот вібрацій також розбивається на октавні полоси: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000 Гц. Абсолютні значення параметрів, що характеризують вібрацію, змінюються в широких межах, тому використовують поняття рівня параметрів, що представляє собою логарифмічні відношення значення параметра до опорного або порогового його значення.

Даний прилад побудований на основі п'єзоелектричного перетворювача, що найбільш широко застосовують для вимірювань вібраційних процесів. Вони за своїми технічними характеристиками перевершують усі інші види віброперетворювачів, тому що мають досить високу чутливість, широкий частотний і динамічний діапазони вимірювань, відносно невеликі розміри і масу, високу термостійкість і віброміцність.

П'єзоелектричні віброперетворювачі (ВП) - це ВП, в яких у якості чутливого елементу використовуються монокристалічні або полікристалічні матеріали, що мають п'єзоелектричні властивості.

Дія п'єзоелектричних ВП заснована на використанні прямого п'єзоелектричного ефекту, тобто властивостей деяких матеріалів генерувати заряд під дією прикладеної до них механічної сили. Принцип побудови п'єзоелектричних ВП зображений на рисунку 1.

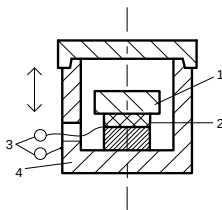


Рис. 1. Схема п'єзоелектричних ВП

Інерційний елемент 1 прикріплений до верхньої межі п'єзоелемента 2, а нижня грань п'єзоелемента прикріплена до корпусу 4. При установці перетворювача на досліджуваному об'єкті, перетворювач сприймає вібрацію об'єкта. Внаслідок прагнення інерційного елемента зберегти стан спокою, п'єзоелемент деформується від впливу на нього інерційної сили, де m - маса інерційного елемента, a - прискорення об'єкта.

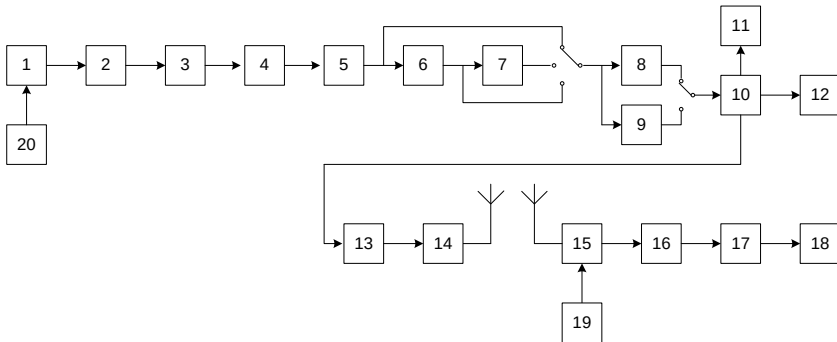
Деформація п'єзоелемента і електричний заряд, що виникає при цьому, пропорційні прискоренню. Тому ці перетворювачі часто називають п'єзоакселерометрами.

В якості п'єзоелемента використовують полі- і монокристалічні п'єзоелектричні речовини.

Основні переваги п'єзоелектричних ВП: широкий діапазон робочих частот; велика вібраційна і ударна міцність; простота конструкції; мала чутливість до магнітних полів; можливість створення високотемпературних перетворювачів; можливість створення перетворювачів з малими розмірами і масою.

Основними недоліками п'єзоелектричних ВП є наявність великої вихідного опору; залежність вихідного сигналу від довжини кабелю; неможливість виміру постійної складової динамічного процесу.

Нижче наведена структурна схема вібровимірюючого приладу з дистанційною передачею інформації для виміру пікових і середньоквадратичних значень переміщення, швидкості й прискорення та передачі результату на відстань.



- 1 – п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач;
- 2 – підсилювач заряду;
- 3 – багатопродільний дільник напруги;
- 4 – активний фільтр нижніх частот;
- 5 – підсилювач змінної напруги;
- 6, 7 – інтегратори;
- 8 – детектор середньоквадратичних значень;
- 9 – амплітудний детектор;
- 10 – мікроконтролер з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем;
- 11 – зовнішній інтерфейс;
- 12, 18 – цифрові відлікові пристрої;
- 13 – передавач;
- 14 – шифратор;
- 15 – приймач;
- 16 – дешифратор;
- 17 – регістр;
- 19 – мікроконтроллер;
- 20 – калібрувальний генератор.

Рис. 2. Структурна схема вимірювача параметрів вібрації з дистанційною передачею інформації

Прилад працює в такий спосіб. Сигнал з п'єзоелектричного ВП 1, пропорційний прискоренню, надходить на попередній підсилювач заряду 2. Підсилювач заряду має більшу вхідну ємність і відносно невисокий вхідний опір. Завдяки цьому в схемі підсилювача заряду прилад можна підключати до ВП, що перебуває на відстані. Далі сигнал надходить на дільник напруги 3, що

призначений для розширення динамічного діапазону й зменшення напруги в певне число раз. З дільника сигнал надходить на активний фільтр нижніх частот (ФНЧ) 4, призначений для зрізу високих частот, порівнянних з резонансними частотами перетворювачів. Фільтр служить також для фільтрації вхідної напруги від перешкод. ФНЧ 4 має частоту зрізу 1 кГц.

Далі сигнал надходить на нормалізуючий підсилювач змінної напруги 5, що регулює посилення (чутливість) тракту виміру. Він дозволяє здійснити (надалі) одне- і дворазове інтегрування сигналу прискорення для одержання значень швидкості й переміщення об'єкту.

Сигнал з підсилювача змінної напруги через перемикач вимірюваних параметрів, надходить на детектори 8 і 9 (у випадку виміру віброприскорення), або через інтегруючий контур 6 на детектор 8 і 9 (при вимірі віброшвидкості), чи через інтегруючі контури 6 і 7 на детектори (при вимірі вібропереміщення) сигнал з перемикача надходить одночасно на квадратичний детектор 8, що перетворює миттєве значення змінної напруги в постійному, пропорційне діючому значенню змінної напруги; і на амплітудний детектор 9, призначений для запам'ятовування екстремальних значень амплітуди сигналу.

Далі сигнал надходить на мікропроцесор з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем 10. Аналого-цифровий перетворювач являє собою пристрій для автоматичного перетворення безупинно мінливої в часі електричної напруги в еквівалентне значення числових кодів.

Мікропроцесор зчитує код з виходу АЦП і виконує його перетворення у відповідне значення вхідного вібраційного впливу по закладеній формулі. Після цього мікропроцесор видає результат виміру на цифровий відліковий пристрій (РКІ) 12 і на зовнішній інтерфейс 11.

Одночасно цим, сигнал з мікропроцесору надходить на передавач 13 і шифратор (кодер) 14, який кодує сигнал у двійників код. Далі результат за допомогою антени передається на іншу антену, що знаходиться на відстані.

Результат оброблюється приймачем 15, який керується за допомогою мікроконтроллера 19. З приймача сигнал надходить на дишефратор (декодер) 16, який розкодовує сигнал у відповідний йому двійників код. Результат відображається на ЦВП 18. Регістр 17 записує результат перед подачею на ЦВП.

Для контролю й калібрування всього комплексу служить генератор каліброваного сигналу 20, що видає синусоїдальну напругу постійної амплітуди. Цей сигнал подається на вхід попереднього підсилювача заряду 2.

Список літератури: 1. *Клюев В. В.* Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара. Часть 1 – М.: Машиностроение, 1978. 2. *Субботин М. И.* Измерительная техника. – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – С. 48 – 53. 3. *М. Серридж, Т. Р. Лихт* Справочник по пьезоэлектрическим акселерометрам и предусилителям – М.: Брюль и Кьер, 1987. – 368 с. 4. *Бишард Е.Г.* и др. Аналоговые электро-измерительные приборы. – М.: Высшая школа, 1991. – 416 с.

Надійшла до редколегії 20.10.2011

В.К. ГУСЕЛЬНИКОВ, канд. техн. наук, професор НТУ “ХПІ”,
А.Д. ТЕРЕНТЬЄВА, студентка НТУ “ХПІ”

РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОЇ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ

Стаття присвячена розробці універсального метеорологічного центру, який дозволяє збирати інформацію про температуру, вологість, атмосферний тиск, напрям і швидкість вітру довкілля.

Статья посвящена разработке универсального метеорологического центра, который позволяет собирать информацию про температуру, влажность, атмосферное давление, направление и скорость ветра окружающей среды.

Paper is devoted to the development of a universal meteorological center, which collects information about temperature, humidity, barometric pressure, wind speed and direction of the environment.

Завжди точність прогнозу погоди залежала винятково від величини спостережницької мережі. Чим більше в ній було датчиків, які могли відслідковувати зміни і повідомляти про них у центр, тим точніше був прогноз. Тисячу років тому ніяких метеостанцій, звичайно, не було, однак спостереження за погодою вже велися. Зараз майже всю космічну метеоінформацію Україна одержує з-за кордону. Так що не варто дивуватися тому, що помилки синоптиків були і будуть однієї з самих улюблених тем для розмов українців.

Сучасні метеостанції діляться як правило на дві категорії: побутові і професійні. Побутові метеостанції при доступній ціні для звичайних людей, дозволяють збирати інформацію про вологість, температуру та інші параметри навколишнього середовища, однак з невеликою точністю і вірогідністю вимірювань. Професійні метеостанції придатні для використання у вузькоспеціалізованих завданнях, там, де необхідна інформація о параметрах навколишнього середовища і на вірогідність якої можна покластися. Прикладом такого застосування може бути метеостанція в аеропорті, родильному будинку, лікарні, на підприємствах де товар повинен зберігатися в спеціальних умовах і т.д.

Крім того, сучасні професійні метеостанції за спеціальними алгоритмами здатні прогнозувати інформацію про навколишнє середовище на підставі отриманих даних за певний термін і їх аналізу.

Метою даної роботи є розробка метеостанції, що буде збирати а також аналізувати інформацію про вологість, температуру, тиск а також швидкість і напрямок повітря. Розроблений пристрій повинен по точності вимірювань не уступати аналогічним промисловим пристроям, а по своїй надійності перевершувати їх.

Метеостанції, які виробляють у Німеччині, Швейцарії, Росії та інших країнах поділяють на дві категорії: побутові і професійні [1]. Також їх можна

розділити на цифрові і аналогові. Аналогові роблять в основному як предмети інтер'єра, а цифрові для різних специфічних завдань [2].

У цифрових метеостанціях завдяки вбудованій антені є функція корекції по радіосигналу точного часу DCF-77.

Точний час передається атомними годинниками, що працюють від атома Цезій 133 [3]. Вперше такого роду годинники були сконструйовані в США в 1949 році, а в 1967 році було визначене поняття секунди, що увійшло в міжнародну систему мер SI [4].

Відповідно до цього визначення, 1 секунда - це частота 9192631770 коливань атома Цезій 133, що виникають при зміні енергетичного рівня атома ізотопу Цезій 133. Точність годинників, сконструйованих на цій основі, досягає 1 секунди в мільйон років.

В цей час у світі діє більше 10 атомних годинників, а два з них працюють у Німеччині. Їхній точний час передається передавачем за назвою DCF 77. Він перебуває в місцевості Майнфлінген - 30 км від Франкфурта на Майні і своїм радіусом (близько 2500 км) охоплює майже всю Європу і Росію [5].

Сигнал передається на ультрадовгих хвилях і містить інформацію про дату, час, а також про тип часу - літній або зимовий. Трансмісія точного часу триває 59 секунд, після чого настає перерва в 1 секунду [6]. Трансмісія завжди ставиться до чергової хвилини.

В цей час DCF 77 визнаний офіційним атомним передавачем атомного еталону часу в Європейському союзі [7].

Для професійного застосування підходять лише цифрові метеостанції, тому в роботі був зроблений огляд саме цих станцій провідних виробників, а також розглянуті додаткові датчики, які можна підключати до них.

Метеостанції для побутового застосування надають наступні можливості:

- прогноз погоди на 12-24 години (сонячно, змінно, хмарно, дощ, шторм або сніг);
- анімований показник відносного розташування місяця і сонця для заданого міста;
- індикація часу сходу і заходу сонця для певного міста;
- вимірювання температури;
- вимірювання вологості;
- вимірювання атмосферного тиску;
- визначення тенденції зміни атмосферного тиску;
- вимірювання рівня UV (ультрафіолетового) випромінювання;
- вимірювання рівня забруднення повітря;
- функція штормового попередження;
- індикатор рівня комфортності;
- корекція часу по радіосигналу точного часу DCF-77;
- вимірювання швидкості та напрямку повітря.

Професійні метеостанції мають додаткові можливості:

- датчик кількості опадів, що випали;
- індикація крапки роси;
- індикація температури холоду повітря;
- діапазони вимірювань:
 - 1) температура $-50 \div 70$ °C;
 - 2) вологість $1 \div 99$ %;
 - 3) тиск $92 \div 105$ кПа;
 - 4) швидкість повітря $0 \div 199$ км/год або $0 \div 55$ м/с;
- точність вимірювань:
 - 1) температура - $0,1$ °C;
 - 2) вологість - 5 % Rh;
 - 3) інтенсивність УФ променів - 1UIV (10 %);
 - 4) датчик повітря $11,25$ °;
 - 5) швидкість повітря - 2 mph.

Метеостанції за точністю вимірювань буде вищій за аналогічні промислові прилади, тому із усіх датчиків, необхідно обрати найбільш точні незалежно від їхньої ціни.

Для підвищення надійності системи, в кожному каналу необхідно встановити по два датчика і порівнюючи ці значення робити висновок про справність вимірювального каналу.

Для подальшого перспективного використання метеоцентра в складі з іншими пристроями, необхідно реалізувати в його схемі зв'язок із зовнішніми пристроями через інтерфейс USB.

Мікроконтролер збирає вхідні дані по десятих каналах, з яких п'ять каналів від датчиків температури. Для підвищення надійності системи, у кожному каналу встановлено по два датчика. Інформація надходить одночасно з обох датчиків, програма керування порівнює ці значення, і якщо інформація з обох датчиків відрізняється на неприпустиму величину яка, наприклад, перевищує в два рази максимальну похибку датчика, відбувається оповіщення оператора про несправність даного каналу прийому інформації.

Інформація від кожного з датчиків надходить по каналу зв'язку в мікроконтролер через один з його портів. Потім вона обробляється і заноситься в базу даних (ПЗУ) мікроконтролера. При переповненні виділеного обсягу пам'яті, вона автоматично стирається, і на це місце перезаписуються більш нові дані.

Мікроконтролер має у своєму составі вбудований апаратний інтерфейс USB, який багато розширює можливості метеостанції в порівнянні з аналогічними пристроями, а саме:

- більш просте сполучення із ПК;
- можливість підключення пристрою до ПК в «гарячому режимі» без перезавантаження системи;

- швидкість передачі даних набагато перевищує швидкість обміну через інтерфейс;
- оскільки метеоцентр може перебувати на відстані від ПК, через інтерфейс USB нескладно організувати обмін інформацією із ПК через радіо-канал за допомогою універсальної плати радіо подовжувача USB;
- крім того, через інтерфейс USB дана метеостанція може бути пов'язана з кожним із сучасних периферійних пристроїв (наприклад пристрою виводу - відображення інформації або FLASH-карти для зчитування бази даних вимірювань).

Рідкокристалічний індикатор дозволяє метеостанції працювати в автономному режимі без джерела зовнішнього живлення. На індикатор оператор може вивести інформацію, що цікавить його в цей момент (наприклад, зміна температури в реальному режимі часу).

Всі настройки, а також керування роботою метеостанції можливо в двох режимах: з пульта керування або безпосередньо із ПК за допомогою програми керування метеостанцією.

Живлення пристрою здійснюється за допомогою зовнішнього стабілізованого джерела.

Завдяки тому, що мікроконтролер, який керує роботою метеостанції, має реалізований інтерфейс USB, є можливість найзручнішим способом поєднати кілька метеостанцій і керувати їх роботою оператором за допомогою ПК. Це дозволить побачити загальну картину навколишнього середовища у великому регіоні, або картину про метеоумови на різних висотах над рівнем моря наприклад, для космічної галузі або авіації.

Список літератури: 1. *Воробьёва В.И.* Практикум по синоптической метеорологии. – М.: Радио и связь, 1983. – 276 с. 2. *Зверев А.С.* Синоптическая метеорология. – Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1968. – 472 с. 3. *Пальмен Э., Ньютон Ч.* Циркуляционные системы атмосферы пер. с англ. – М.: “Энергия”, 1973. 4. *Питерсен А.С.* Анализ и прогнозы погоды. пер. с англ. – М.: Энергия, 1961. – 392 с. 5. *Хргиан А.Х.* История метеорологии в России. Труды Института истории естествознания. – М.: Энергия, 1948. – 424 с. 6. *Хромов С.П.* Основы синоптической метеорологии. – М.: Связь, 1948. – 199 с. 7. *Юдин М.И.* Новые методы и проблемы краткосрочного прогноза погоды. – Л.: Энергия, 1993. – 132 с.

Надійшла до редколегії 21.09.2011

О.В. ГУСЕЛЬНИКОВ, аспірант НТУ “ХП”

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИЛАД

У статті наведені опис та принцип роботи, розробленого аналого-цифрового вимірювального приладу; досліджені метрологічні характеристики виконаного на його базі цифрового вимірювача напруги з електродинамічним механізмом.

В статье приведены описание и принцип работы, разработанного аналого-цифрового измерительного прибора; исследованы метрологические характеристики выполненного на его базе цифрового измерителя напряжения с электродинамическим механизмом.

The article describes the working principle and developed analog-digital measuring device; investigated metrological characteristics performed on the basis of its digital voltage meter electrodynamic mechanism.

В теперішній час в різноманітних областях науки, не дивлячись на бурхливий розвиток цифрової техніки [1], широке розповсюдження мають аналогові стрілочні прилади для вимірювання різноманітних фізичних величин [2]. Поряд з перевагами, основними з яких є: висока надійність, наочність значень вимірювальної інформації і відносно низька вартість, суттєвим недоліком аналогових приладів є те, що вони перетворюють вимірювальну величину тільки в переміщення стрілочного покажчика відносно відміток шкали, що обмежує їх використання в інформаційно – вимірювальних і керуючих системах, де необхідно представляти вимірювальну інформацію у вигляді електричного сигналу.

Розроблено аналого-цифровий вимірювальний прилад [3]. На рисунку 1 зображена структурна схема вимірювального приладу де: ЧЕ – чутливий елемент на який подається вимірювальна приладом величина X , СП – спіральна пружина для створення протидіючого моменту, що підключена до контура LC – автогенератора електричних коливаль (АГ), вихідний сигнал якого подається на кодуєний перетворювач (КП), що складається з формувача прямокутних імпульсів (ФПІ) та мікроконтролера МК, де оброблюється сигнал автогенератора [4].

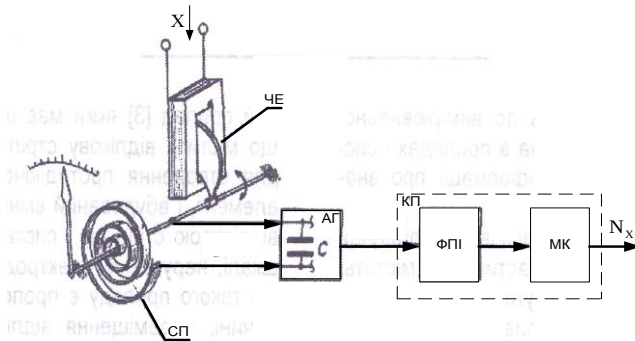


Рис. 1. Структурна схема вимірювального приладу

Для встановлення залежності індуктивності в діапазоні $(2,20 \div 2,34)$ мкГн пружини від її деформації в діапазоні $(0 \div 5)$ мм проведені експериментальні дослідження на установці, результати яких наведено на рисунку 2 та в таблиці.

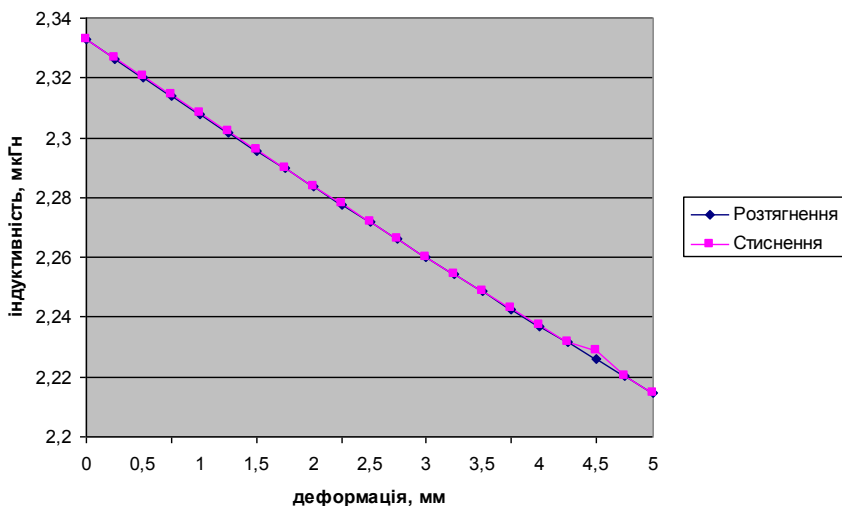


Рис. 2. Залежність індуктивності пружини від деформації

Таблиця. Результати дослідження залежності індуктивності котушки від деформації

№	Деформація, мм	Індуктивність, мкГн, при розтягненні	Індуктивність, мкГн, при стисненні
1	2	3	4
1	0,00	2,3328	2,3330
2	0,25	2,3265	2,3267
3	0,50	2,3203	2,3204
4	0,75	2,3141	2,3143
5	1,00	2,3079	2,3081
6	1,25	2,3018	2,3020
7	1,50	2,2957	2,2959
8	1,75	2,2897	2,2898
9	2,00	2,2837	2,2838
10	2,25	2,2778	2,2779
11	2,50	2,2719	2,2720
12	2,75	2,2660	2,2661
13	3,00	2,2601	2,2602

Кінець таблиці

1	2	3	4
14	3,25	2,2543	2,2544
15	3,50	2,2485	2,2486
16	3,75	2,2428	2,2429
17	4,00	2,2371	2,2372
18	4,25	2,2315	2,2315
19	4,50	2,2258	2,2289
20	4,75	2,2202	2,2203
21	5,00	2,2147	2,2147

Як видно з графіку і таблиці індуктивність пружини лінійно залежить від її деформації.

Вимірювальний прилад працює наступним чином. При відсутності (нульовому значенні) на вході чутливого елементу вимірюваної величини ($X=0$), встановлюються початкові значення: геометричні розміри, кількість витків і індуктивність L_0 спіральної пружини, яка крім створення протидіючого моменту використовується в якості котушки індуктивності, що підключена до контура LC – автогенератора електричних коливань, при цьому початкове значення частоти $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ автогенератора поступає на формуувач прямокутних імпульсів та далі на мікроконтроллер, де формуються часовий інтервал τ і число імпульсів $N_0 = \tau f_0^{0,5}$, яке зберігається в оперативній пам'яті МК.

Зміна (наприклад підвищення) значення вимірювальної величини призводить до деформації пружини-котушки 1 (наприклад до збільшення її діаметру і зменшення кількості витків), тобто до зміни її індуктивності L_0 і отже, частоти f_0 автогенератора і вихідний сигнал f_1 має вигляд:

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{1+K_\Sigma X}}, \quad (1)$$

де K_Σ – коефіцієнт перетворення ЧЕ і СП.

Вихідний сигнал через ФП надходить на вхід МК, де формуються інтервал часу τ і $N_1 = \tau f_1^2 = N_0 f_1^2 f_0^{-2}$ число імпульсів, яке теж зберігається в оперативній пам'яті МК. Далі в блоці обчислення МК виконується формування вихідного сигналу КП у вигляді числового коду $N_X \equiv \tilde{O}$ наступним чином:

$$N_X = N_1 - N_0 = N_0 f_1^2 f_0^{-2} - N_0 = N_0 \left(\frac{(f_0 (1+K_\Sigma \tilde{O})^{0,5})^2}{f_0^2} - 1 \right) = N_0 K_\Sigma X \quad (2)$$

Графічно процес формування вихідного сигналу наведено на рисунку 3.

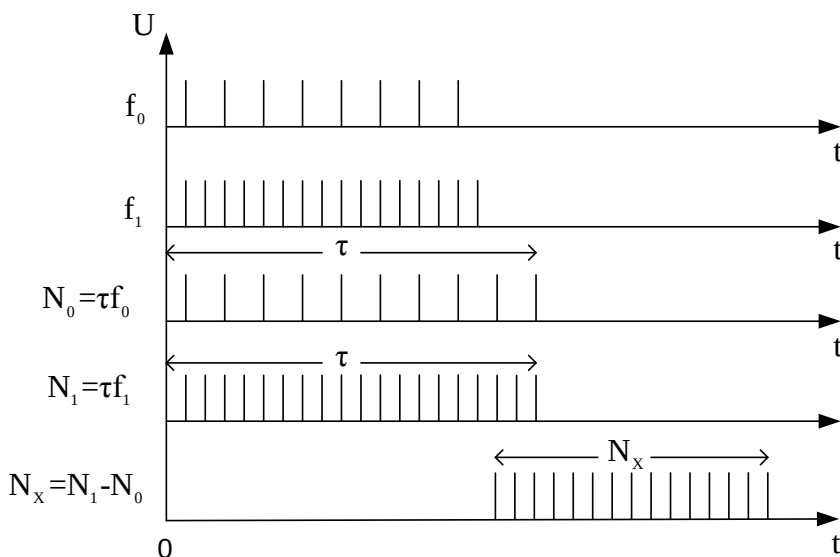


Рис. 3. Процес формування вихідного сигналу вимірювального приладу

Технічним результатом є те, що вимірювальний прилад має просту і надійну конструкцію, яка забезпечує можливість безпосереднього підключення спіральної пружини для створення протидіючого моменту в якості котушки індуктивності у контур автогенератора та отримати крім аналогового (відлік по шкалі), цифровий вихідний сигнал, що розширює область використання такого приладу в інформаційно-вимірювальних та контролюючих системах. Побудований, на основі такого приладу, вольтметр з електродинамічним вимірювальним механізмом та цифровим відліковим пристроєм, забезпечував у діапазоні 0-150 В похибку відліку $\pm 0,5\%$ по аналоговій і цифровій шкалам.

Список літератури: 1. Чинков В.М. Цифрові вимірювальні прилади. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 508 с. 2. Поліщук С.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. – Львів: “Бескид Біт”, 2003. – 544 с. 3. Гусельніков В.К., Гусельніков О.В. Патент України 54165 «Вимірювальний прилад». Бюл. №20. 25.10.2010. 4. Шпак Ю.А. Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров – К.: “МК-Пресс”, 2006. – 400 с.

Надійшла до редколегії 21.10.2011

А.П. ДАВИДЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
В.Н. СЛАВКОВ, аспирант, НТУ «ХПИ»

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ

У статті розглядаються питання можливості застосування індукційного нагріву при тепловому неруйнівному контролі об'єктів, а також при визначенні їх теплофізичних властивостей. Проведено аналіз конструктивних рішень індукційних нагрівачів. Запропоновано конструкцію індукційного нагрівача для вирішення завдань теплового неруйнівного контролю за допомогою цифрового фотоапарату.

В статье рассматриваются вопросы возможности применения индукционного нагрева при тепловом неразрушающем контроле объектов, а также при определении их теплофизических свойств. Проведен анализ конструктивных решений индукционных нагревателей. Предложена конструкция индукционного нагревателя для решения заданий теплового неразрушающего контроля с помощью цифрового фотоаппарата.

The article discusses the possibility using heating induction at the thermal nondestructive testing of objects, as well as the determination of their thermal properties. The constructive solutions analysis of induction heaters was carry out. The induction heater design for objective resolution of the thermal nondestructive testing with a digital camera was proposed.

Постановка проблемы. При тепловом неразрушающем контроле (ТНК), а также при определении теплофизических свойств объектов возможно применение цифрового фотоаппарата (ЦФ), который позволяет произвести обработку цифровых температурных картин и получить характеристики распределения температур на поверхности объекта [1].

Фотографический метод ТНК, основан на анализе RGB уровней изображений (рис. 1) объектов нагретых до температуры видимого диапазона спектра (более 600 °C) [2]. В данном случае для выявления дефектов (скрытых раковин, полостей, трещин, инородных включений и т.д. [3]) не обязательно знать значения температур по поверхности объекта, достаточно лишь иметь картину распределения температуры по поверхности объекта.

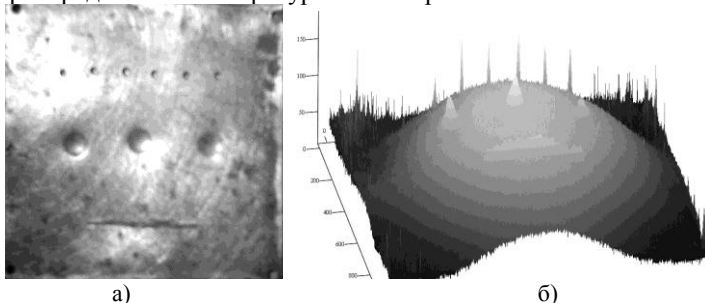


Рис. 1. Обнаружение дефектов по значениям RGB уровней изображения при фотографическом методе ТНК:

а) – изображение объекта исследования; б) – распределение RGB уровней полученное после обработки в MathCAD

При определении теплофизических свойств объекта необходимо установить связь термодинамической температуры объекта с полученными в процессе фотографирования значениями RGB уровней изображения, а также отслеживать скорость изменения распределения термодинамической температуры объекта в процессе нагревания (охлаждения) (рис. 2).

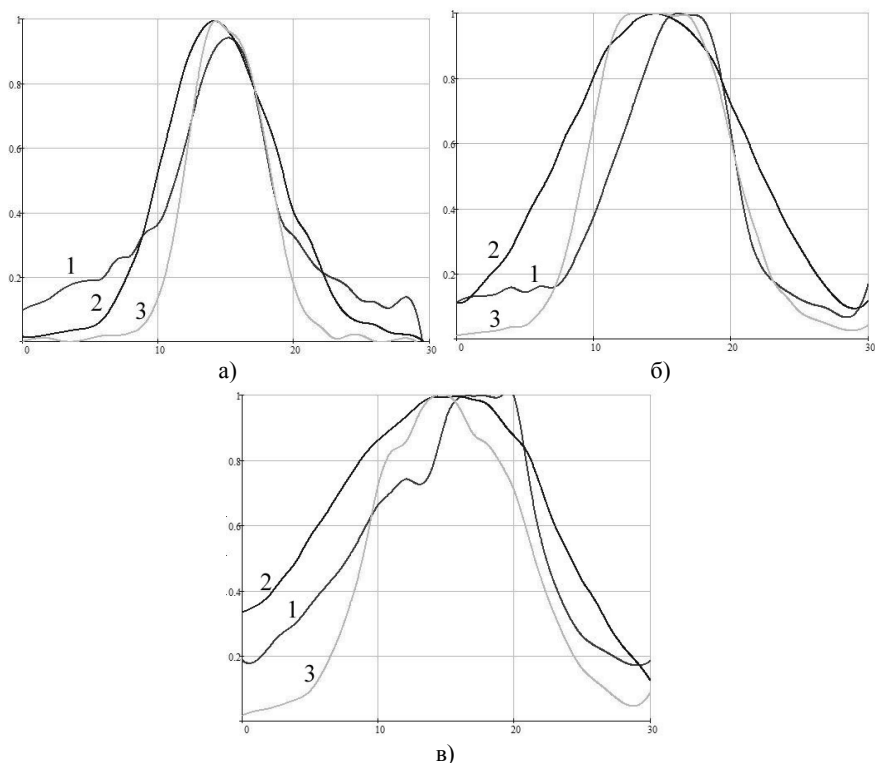


Рис. 2. Распределение RGB уровней изображения в процессе нагревания пластин металлов (размер 10×10 см, толщина 1 мм):

1 – алюминий; 2 – медь; 3 – сталь;

а) момент времени t_0 ; б) момент времени $t_0 + 1$ мин; в) момент времени $t_0 + 2$ мин

Использование ЦФ в качестве средства измерения термодинамической температуры возможно при разработке соответствующего метрологического обеспечения, которое включает в себя процедуру его калибровки с помощью установки, состоящей из абсолютно черного тела (АЧТ), источника внешнего теплового воздействия, исследуемого объекта (разнородные металлы), а также устройства контроля температуры (рис. 3).

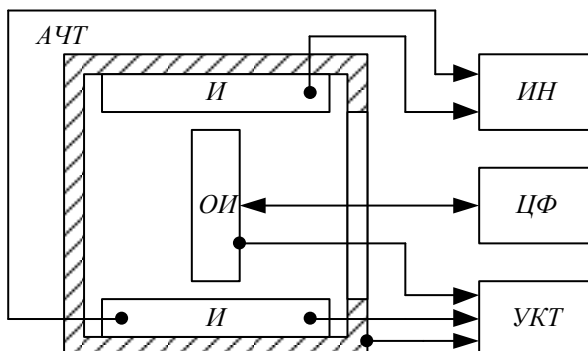


Рис. 3. Структурная схема установки для калибровки ЦФ:
 АЧТ – абсолютно чёрное тело; И – индуктор; ОИ – объект исследования;
 ИН – индукционный нагреватель; УКТ – устройство контроля температуры;
 ЦФ – цифровой фотоаппарат

В данной статье рассматривается возможность применения индукционного нагревателя в качестве источника внешнего теплового воздействия в установке для калибровки ЦФ, а также при фотографическом методе ТНК.

Анализ литературы. Развитие индукционного нагрева идёт по пути совершенствования его технологии и автоматизации, в том числе и на основе достижений современной вычислительной техники [4]. В связи с ростом мощности установок и расширением их использования в промышленности особое значение приобрело совершенствование основной аппаратуры и источников питания, направленное на улучшение энергетических показателей и надёжности установок для нагрева проводящих материалов и диэлектриков.

Цель статьи – анализ конструктивных решений индукционных нагревателей. Разработка и применение индукционного нагревателя при использовании фотографического метода ТНК, а также при определении теплофизических свойств объектов.

Индукционный нагреватель. При проведении экспериментов с помощью установки для калибровки ЦФ, а также в реальных производственных условиях данный вид нагревателя обладает рядом преимуществ по отношению к другим видам нагревателей [5], а именно: высокоскоростной разогрев любого электропроводящего материала; возможен нагрев в атмосфере защитного газа, в окислительной (или восстановительной) среде, в непроводящей жидкости, в вакууме; нагрев через стенки защитной камеры, изготовленной из стекла, цемента, пластмасс, дерева – эти материалы очень слабо поглощают электромагнитное излучение и остаются холодными при работе установки; нагревается только электропроводящий материал – металл (в том

числе расплавленный), углерод, проводящая керамика, электролиты, жидкие металлы и т. п.; поскольку разогрев ведется посредством электромагнитного излучения, отсутствует загрязнение заготовки продуктами горения факела в случае газопламенного нагрева, или материалом электрода в случае дугового нагрева; помещение образцов в атмосферу инертного газа и высокая скорость нагрева позволят ликвидировать окалинообразование; удобство эксплуатации за счет небольшого размера индуктора; индуктор можно изготовить особой формы – это позволит равномерно прогревать по всей поверхности детали сложной конфигурации, не приводя к их короблению или локальному перегреву; легко провести местный и избирательный нагрев; легкая автоматизация оборудования – циклов нагрева и охлаждения, регулировка и удерживание температуры, подача и съем заготовок.

Существует достаточно большое количество конструктивных решений индукционных нагревателей, в частности силовых инверторов, входящих в состав индукционного нагревателя, подробно описанных в [6, 7, 8]. При проведении исследований разного рода металлов в лабораторных условиях с помощью фотографического метода ТНК достаточно применение индукционного нагревателя обладающего следующими характеристиками (табл.).

Таблица. Характеристики индукционного нагревателя

Мощность нагревателя, кВт	Диапазон рабочих частот, кГц	Диапазон получаемых температур, °С	Напряжение питания нагревателя, В
2	60-300	500-1300	220

Для построения данного индукционного нагревателя использована структурная схема полумостового инвертора (рис.4), обладающего необходимыми характеристиками, подробно описанная в [9].

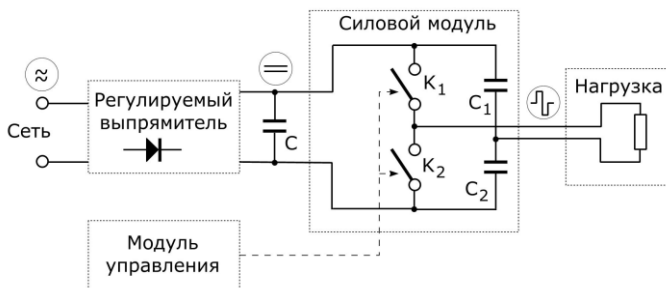


Рис. 4. Структурная схема инвертора

Управление ключами силового модуля осуществляется генераторами управляющих импульсов (IR2153). Усиление сигналов генераторов управляющих импульсов осуществляется с помощью микросхем MAX4420. Схема данного блока представлена на рис.5.

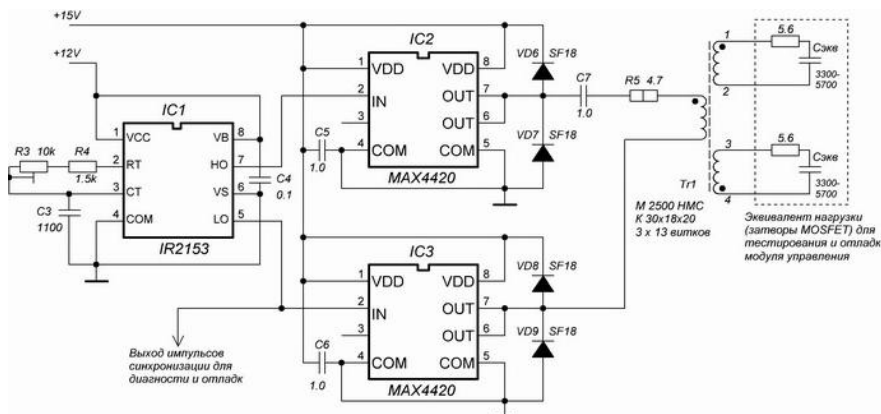


Рис. 5. Схема модуля управления с трансформаторной развязкой

Силовой модуль (рис. 6) содержит мощные полевые транзисторы с изолированным затвором (IXFH30N50).

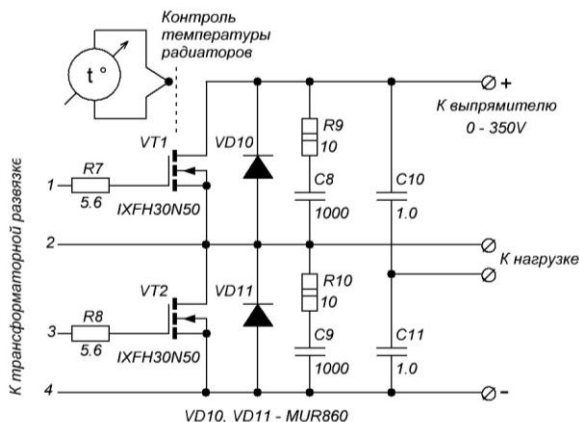


Рис. 6. Схема силового модуля

Эквивалентная схема нагрузки для индукционного нагрева представлена на рис. 7. Трансформатор TR2 изготовлен из двух колец К 45×28×12 мм (марка феррита М2000НМ). Первичная обмотка – 26 витков провода МГТФ 0,75 мм. Эта обмотка подсоединяется непосредственно к выходу инвертора. Роль вторичной обмотки, состоящей из одного витка, выполняет одна из отводных трубок индуктора (медь, диаметр 6 мм), проходящая через центр кольца трансформатора.

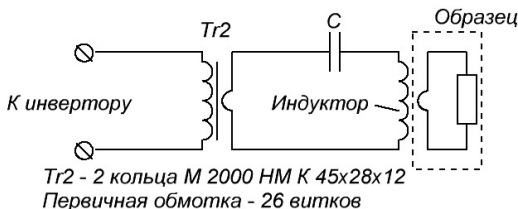


Рис. 7. Эквивалентная схема нагрузки

Индуктор представляет собой катушку, содержащую несколько витков (медная трубка диаметром 4 мм). Индуктор вместе с конденсатором С образует последовательный колебательный контур, на резонансную частоту которого должен быть настроен инвертор. Охлаждение индуктора осуществляется проточной водой.

Выводы. Рассмотренное конструктивное решение индукционного нагревателя является достаточно простым и повторяемым, а также полностью удовлетворяет требованиям установки для калибровки ЦФ и фотографического метода ТНК. В свою очередь, данная конструкция обладает и рядом недостатков. Регулирование мощности нагревателя производится путём изменения напряжения питания инвертора, данный недостаток возможно устранить путём использования частотного регулирования мощности. Вместо полумостовой схемы силового модуля возможно использование мостовой схемы, что приведёт к увеличению уровня мощности нагревателя до 4 кВт в случае необходимости.

Список литературы: 1. Давиденко А.П. Применение цифровой фотографии в задачах неразрушающего контроля / А.П. Давиденко, В.Н. Славков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009 – №23. 2. Давиденко А.П., Славков В.Н. Анализ современного состояния теплового неразрушающего контроля. Фотографический метод ТНК: Матеріали між нар. наук. – техн. конф. «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення: Севастополь, 5-9 вересня 2011 р. /М-во освіти і науки, молоді та спорту України; Севастоп. нац. техн. ун-г; наук. ред. В.Я. Копп – Севастополь.; СевНТУ, 2011. – 292с. 3. Тепловые методы неразрушающего контроля [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.welding.su/library/kontrol/kontrol_113.html. 4. Слухоцкий А.Е. Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов / А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов, А.В. Бамурз; Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат. Ленинград. отд-ние, 1981. – 328с. 5. Индукционный нагрев [Электронный ресурс] – Режим доступа: ru.wikipedia.org/wiki/Индукционный_нагрев. 6. Индукционный нагрев металлов [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.offtop.ru/gauss2k/v7_625902_1.php?of99=bnrgnu21qtp9guom9eidf. 7. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛЮН-Пресс, 2005. – 416 с. 8. Мелишин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. М. Техносфера, 2005. – 632 с. 9. Простой лабораторный инвертор для индукционного нагрева [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.icct.ru/Practicality/Papers/30-03-2010/Invertor-01.php>.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ «ХПИ» Кондрашовым С.И.

Поступила в редакцию 09.09.2011

И.Ф. ДОМНИН, д-р техн. наук, директор, Институт ионосферы,
М.М. РЕЗИНКИНА, д-р техн. наук, гл.н.с., НТЦ МТО НАН Украины,
А.Е. ЧАГАН, вед. инж. электронщик, Институт ионосферы, Харьков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЛАБОПРОВОДЯЩИХ СРЕД (ОБЗОР)

Проведений огляд літературних даних щодо використання високочастотного нагріву при обробці слабо провідних середовищ. Показано, що найбільш перспективним є застосування даного виду обробки при розплавленні асфальто-парафінових відкладень та зменшенні в'язкості нафти. Для вибору оптимальних режимів електромагнітного впливу на нафтопродукти пропонується використання математичного моделювання електротеплових процесів, що відбуваються.

Проведен обзор литературных данных относительно использования высокочастотного нагрева при обработке слабопроводящих сред. Показано, что наиболее перспективным является применение данного вида обработки при плавлении асфальто-парафиновых отложений и уменьшении вязкости нефти. Для выбора оптимальных режимов электромагнитного влияния на нефтепродукты предлагается использование математического моделирования происходящих электротепловых процессов.

The review of the literary sources on usage of the high frequency heating for weakly electrical conductive mediums processing has been carried out. It has shown that the most perspective spheres of this type of processing usage are melting of asphalt-paraffin depositions and petrol viscosity lessening. Elaboration of mathematical simulation tools for electrical heating processes description has been proposed for choice of optimum modes of electromagnetic influence upon petroleum products.

Введение. Согласно [1], области использования микроволновых электромагнитных полей (ЭМП) могут быть разделены на несколько категорий: 1) связь и передача информации; 2) обработка и производство; 3) диагностика и анализ; 4) медицина; 5) военная сфера. В настоящее время наиболее распространены две первые области применения. Основные преимущества использования микроволновых ЭМП для промышленной обработки - быстрая передача тепла к обрабатываемому материалу, объемный и местный нагрев, компактность оборудования, скорость включения и выключения, а также отсутствие загрязнения окружающей среды, т.к. нет продуктов сгорания [2].

В [3] указывается, что микроволновая обработка материалов является технологией, которая позволяет использовать методы по улучшению физических свойств сред; открывает возможности для воздействия на трудные в обработке материалы; уменьшает влияние технологических процессов на окружающую среду; обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами вследствие экономии энергии, уменьшения зоны, необходимой для проведения обработки, а также времени воздействия. Данная обработка открывает пути производства новых материалов и микроструктур, получение которых другими методами невозможно. В [3] отмечается, что данный вид воздействия связан с некоторыми трудностями. Дело в том, что из очевидной для всех легкости микроволновой обработки продуктов питания в получивших широчайшее распространение микроволновых печах отнюдь не следует, что другие

материалы могут быть подвергнуты подобному воздействию столь же легко. Эффективность микроволновой обработки пищи вызвана большим содержанием в ней воды, воздействие на которую микроволнового излучения весьма эффективно. Однако убеждение, что микроволновой обработке могут быть столь же легко подвергнуты другие среды, является ошибочным. Использование данной технологии требует выбора оптимальной частоты и мощности воздействующего излучения в зависимости от вида обрабатываемого материала.

Как отмечается в [3], к микроволновому излучению относятся электромагнитные волны частотой от 300 МГц до 300 ГГц. После успешного применения во время второй Мировой войны в радиолокационных системах, микроволновое излучение использовалось для нагрева материалов начиная с 1946 г. Первые бытовые микроволновые печи были представлены на рынке в 1952 г. В течение следующих лет микроволновые технологии получили повсеместное распространение. Обычно системы микроволновой обработки состоят из микроволнового источника, устройства, передающего мощность в образец, и системы управления нагревом. Наиболее распространенным источником при использовании микроволновых технологий является магнетрон; в качестве источников при микроволновой обработке используются также триоды, тетроды, пентоды, тиратроны, клистроны [3].

Основные области промышленного применения микроволнового нагрева.

Производство керамики. Возможность обработки керамики с помощью микроволнового излучения известна с 50-х годов 20-ого века. Последующие эксперименты в этой области показали, что при такой обработке керамику можно спекать при значительно более низких температурах, чем при электрическом резистивном нагреве. Этот феномен относят к так называемым микроволновым эффектам [1]. К таким эффектам относят также увеличение скорости активационных процессов, включающих процессы спекания, ионный обмен, химические реакции.

Сушка древесины. Одной из областей микроволнового нагрева является диэлектрическая сушка древесины. Данный процесс осуществляется на высоких и сверхвысоких частотах [4]. Для радиоэлектронных устройств, предназначенных для использования в промышленности и народном хозяйстве, выделены следующие диапазоны частот: ВЧ – 13 МГц, 26 МГц, 30 МГц; СВЧ – 433 МГц, 915 МГц, 2450 МГц [4]. При такой сушке древесины, СВЧ энергия в камеру с пиломатериалами подводится волноводными трактами, представляющими собой полые трубы прямоугольного или круглого сечения. Наибольшее распространение в качестве источника СВЧ энергии получили магнетроны. В данном случае нагрев производится путем передачи тепла снаружи внутрь за счет теплопроводности. При рациональном подборе частоты колебаний и параметров камер, где происходит преобразование СВЧ энергии в тепловую, можно получить относительно равномерное выделение тепла по объему обрабатываемого тела. В [4] отмечается, что эффективность

преобразования энергии электрического поля в тепло возрастает прямо пропорционально частоте колебаний и квадрату напряженности электрического поля. Однако с увеличением частоты электромагнитных колебаний уменьшается глубина их проникновения в обрабатываемый материал, поэтому для выбора оптимальных режимов требуются дополнительные исследования в зависимости от вида обрабатываемого изделия. В [4] отмечается также, что важным преимуществом СВЧ нагрева при обработке древесины является тепловая безинерционность процесса, т.е. возможность практически мгновенного включения и выключения теплового воздействия на обрабатываемый материал. В результате достигается высокая точность регулировки процесса нагрева и его воспроизводимость. Важным преимуществом СВЧ обработки древесины является также возможность осуществления и практического применения избирательного, равномерного, сверхчистого, саморегулирующегося нагрева [4]. Проведенные исследования [5] показывают, что при микроволновой сушке древесины снижается уровень так называемых летучих органических веществ, содержание которых в некоторых странах (например, США), строго контролируется. В [6] показано, что длительность микроволновой сушки древесины уменьшается более чем в 10 раз по сравнению с традиционной обработкой.

Переработка отходов. Еще одной перспективной областью использования микроволнового нагрева является переработка отходов и мусора, в частности шин и пластика [7]. Перспективным представляется также уничтожение инфекционных клинических отходов в медицинских учреждениях с помощью микроволновых технологий [8].

Обработка нефти и нефтепродуктов. К одной из наиболее перспективных областей применения микроволновой обработки относится добыча и отбор нефти и нефтепродуктов из скважин и резервуаров. При этом используются ЭМП микроволнового и радиочастотного диапазонов. В [9] описаны экспериментальные исследования по физическому моделированию процессов нагрева веществ различной вязкости, имитирующих нагрев нефтепродуктов.

Большой объем публикаций посвящен использованию технологий на основе микроволнового нагрева для добычи нефтепродуктов из нефтесодержащих шельфов [10-12].

Рассматриваются также схемы микроволнового разогрева нефтепродуктов в трубопроводах. Так, в [13] показана возможность применения ВЧ и СВЧ излучения для прогрева нефтепродуктов в скважинах и участках нефтепроводов, простаивающих из-за образования газогидратных и парафиновых пробок. При этом предлагается использовать введенную в трубопровод при его монтаже систему взаимодействия волн СВЧ диапазона с нефтепродуктами, связанную электрически с источником СВЧ энергии.

Физические основы процесса микроволнового нагрева. Известно, что омический нагрев проводников микроволнами неэффективен. Это связано с крайне малой величиной скин-слоя на микроволновых частотах даже для са-

мых плохо проводящих металлов. В то же время, весьма эффективным может оказаться микроволновой нагрев диэлектриков, который связан с изменением ориентации индуцированных или постоянных диполей в виде реакции на изменяющееся приложенное микроволновое ЭМП. В том случае, когда ЭМП изменяется с частотой, близкой к собственной частоте, с которой может происходить переориентация диполей данного вещества, имеет место максимум поглощения энергии, и нагрев оказывается наиболее эффективным. Согласно [3], для достижения оптимального нагрева необходимо обеспечение сбалансированного сочетания значений действительной части комплексной диэлектрической проницаемости обрабатываемого материала (ϵ') для того, чтобы глубина проникновения в него электромагнитной волны была достаточной, и больших потерь за счет максимальных значений мнимой части ϵ'' . Еще одним условием для эффективной микроволновой обработки является высокая теплопроводность обрабатываемого материала, а значит быстрая диссипация тепла в обрабатываемом объеме.

Токи, приводящие к нагреву диэлектриков при воздействии на них микроволнового излучения, зависят от комплексной диэлектрической проницаемости материала [14]:

$$\dot{\epsilon} \epsilon_0 = \epsilon_0 \cdot (\epsilon_r' - j\epsilon_r''),$$

где $\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м; ϵ_r' - относительная диэлектрическая проницаемость; ϵ_r'' - мнимая часть диэлектрической проницаемости, называемая коэффициентом диссипации или коэффициентом потерь.

Потери в диэлектрике часто характеризуют $\tan \delta = \epsilon_r'' / \epsilon_r'$ - тангенсом угла диэлектрических потерь.

Как отмечается в [14], основным фактором, определяющим диэлектрические потери на радиоволновых и микроволновых частотах, является так называемая “ориентационная поляризация”, которая имеет место в материалах, состоящих из молекул или частиц с постоянным дипольным моментом. Приложенное электрическое поле вызывает переориентацию диполей с частотой приложенного ЭМП в зависимости от направления вектора электрического поля. Инерционное сопротивление такому вращению вызывает механическое трение и термическое возбуждение. Таким образом, энергия электрического поля преобразуется в тепловую энергию, что и является основой для высокочастотного нагрева диэлектриков.

Вращающаяся поляризация является не единственным механизмом диэлектрических потерь в высокочастотных ЭМП. Например, существуют потери за счет наличия проводящих включений, потери на границах раздела сред и др. Однако все эти диэлектрические потери могут быть описаны при помощи слагаемого ϵ_r'' . Следует отметить, что в отличие от джоулевых потерь, потери в диэлектриках являются частотно-зависимым и не могут присутствовать в статических полях.

В [15] приводится постановка задачи расчета возбуждения в диссипативной среде электромагнитного поля антеннами. Выполнены также приме-

ры численного моделирования поля полосковой антенны. Согласно большинству литературных источников (см. например, [10,16,17]), задача выбора параметров микроволнового электромагнитного воздействия на диссипативные среды должна содержать решение уравнения теплопроводности. Для того чтобы выбрать оптимальные режимы электромагнитного воздействия на нефтепродукты, целесообразным представляется использование математического моделирования происходящих электротепловых процессов. При этом необходимо учесть нелинейную зависимость проводимости нефтепродуктов от температуры их нагрева.

Закключение. Проведенный обзор литературных данных, касающихся использования высокочастотного нагрева для обработки слабопроводящих сред, показал, что наиболее перспективным представляется применение данного вида обработки при расплавлении асфальто-парафиновых отложений и уменьшении вязкости нефти. Для выбора оптимальных режимов электромагнитного воздействия на нефтепродукты может быть использовано математическое моделирование происходящих электротепловых процессов.

Список литературы: 1. Clark D.E., Folz D.C., McGee T.D. An introduction to ceramic engineering design. - American Ceramic Society, Westerville, Ohio, USA, 2002, 446 p. 2. <http://www.pueschner.com/downloads/MicrowaveHeating.pdf>. 3. Materials Research Advisory Board, Microwave Processing of Materials, National Research Council, Publication NMAB-473: National Academy Press, 1994, 164 p. 4. Гапеев Ф.Х. Сушка древесины электромагнитными волнами // Деревообрабатывающее оборудование (ЛПИ). – 2004. - № 9 (22). - С. 74-78. 5. Wang S., Du G. Zhang Ya. Microwave wood drying: energy consumption, VOC emission and drying quality // Proc. of 3-d Inter-American Drying Conference. – 2005. – Paper III-4. – 10 p. 6. Bartholme M., Avramidis G., Viol W., Khazipour A. Microwave drying of wet processed wood fibre insulating boards // Eur. J. Wood Prod. – 2009. – Vol. 67. – P. 357–360. 7. Appleton R.J., Colder R.I., Kingman S.W., et al. Microwave technology for energy-efficient processing of waste // Applied Energy. – 2005. – N 81. – P. 85–113. 8. Treatment Alternatives for Medical Waste Disposal // Program for Appropriate Technology in Health Seattle (USA). – 2005. – 18 p. (http://www.path.org/files/TS_trt_alt_med_wst_disp.pdf). 9. Kashif M., Yahya N., Zaid H.M., et al. Oil recovery by using electromagnetic waves // Journal of Applied Sciences. – 2011. – N 8. – P. 366-1370. 10. Балакирев В.А., Сотников Г.В., Ткач Ю.В. Микроволновые методы интенсификации добычи нефти (Обзор) // Электромагнитные явления. – 2001. – Т. 2, № 2(6). – С. 255-288. 11. Sahni A., Kumar M., Knapp R.B. Electromagnetic heating methods for heavy oil reservoirs // Proc. of Society of Petroleum Engineers SPE/AAPG Western Regional Meeting, Long Beach (CA) 62550. – 2000. – 12 p. 12. Bridges J.E., Krstansky J.J., Taflove A., et al. The ITRI in-situ RF fuel recovery process // J. of Microwave Power. – 1983. – V. 18, N 1. – P. 3-14. 13. Морозов Н.Н., Кашикатенко Г.В. Микроволновый разогрев нефтепродуктов в трубопроводах // Вестник Мурманского Государственного Технического Университета. – 2010. – Том 13, вып. 4. – С. 974-976. 14. Mehdizadeh M. Microwave/RF applicators and probes for material heating, sensing and plasma generation. A design guide. - San Diego (CA), USA: Elsevier, 2010, 389 p. 15. Домнин И.Ф., Поспелов Л.А., Андреев А.Е. и др. Электромагнитные технологии модификации свойств диссипативных сред углеводородов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: “Радиофизика и ионосфера”. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010. – № 48. – С. 120-137. 16. Балакирев В.А., Сотников Г.В., Ткач Ю.В., Яценко Т.Ю. Разрушение асфальто-парафиновых отложений в нефтяных трубопроводах движущимся источником высокочастотного электромагнитного излучения // Журнал технической физики. – 2001. – Т. 71, вып. 9. – С. 1-8. 17. Alpert Y., Jerby E. Coupled thermal-electromagnetic model for microwave heating of temperature-dependent dielectric media // IEEE Transactions on Plasma Science. – 1999 - Vol. 27, No. 2. - P. 555-562.

Поступила в редколлегию 07.10.2011

Н.А. ЕВСИНА, старший преподаватель кафедры АУТС, НТУ «ХПИ»

АНАЛИЗ СПОСОБОВ СУШКИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИХ АВТОМАТИЗАЦИИ

У статті на основі аналізу способів сушки КПМ для автоматизації процесу сушки вибраних конвекційний спосіб. Для зниження браку і енерговитрат запропонована 2-х контурна система управління, що включає технологічний і інтелектуальні контроллери. Останній базується на теорії нечіткої логіки.

В статье на основе анализа способов сушки КПМ для автоматизации процесса сушки выбран конвекционный способ. Для снижения брака и энергозатрат предложена 2-х контурная система управления, включающая технологический и интеллектуальные контроллеры. Последний базируется на теории нечеткой логики.

The article introduces the analysis of drying methods for CPM (Capillary-Porous Materials). A convection method was chosen to automate the drying process. To reduce the spoilage and power inputs the author proposes a double-circuit control system, which integrates technological and intelligent controllers. The latter is based on the fuzzy logic theory.

Введение. На современном этапе развития промышленности и сельского хозяйства встречается множество различных способов сушки капиллярно-пористых материалов (КПМ). Необходимо уточнить, что конечной задачей сушки является достижение требуемого значения выходной влажности материала. К наиболее распространенным способам можно отнести: естественную сушку, конвекционную сушку [1], сублимационную сушку [2], акустическую сушку [3], инфракрасную и микроволновую [4]. А также применяются комбинированные способы: конвекционно-микроволновая сушка [5] и вакуумно-микроволновая сушка. В механизированных сушильных агрегатах наиболее часто встречаются технологии, основанные на трех способах: конвекционном, сублимационном и микроволновом. Суть способа сублимационной сушки заключается в предварительной заморозке продукта, а затем помещении его в вакуум. При этом происходит испарение льда, т.е. вода переходит из твердой фазы в газообразную, минуя жидкую фазу. Сублимационная сушка хорошо подходит для производства небольшого количества высококачественной продукции, если имеется возможность понести большие начальные затраты. При микроволновом способе на обезвоживаемый продукт воздействуют интенсивным электромагнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ). Под действием СВЧ поля молекулы воды начинают совершать колебательные и вращательные движения с выделением тепловой энергии. Таким образом, разогрев происходит во всем объеме продукта, причем более влажные участки получают больше энергии. За счет этого происходит удаление влаги и одновременно – выравнивание влажности в объеме продукта. Единственным ограничением этого способа является

относительно низкий (60%) КПД преобразования энергии электрического тока в энергию СВЧ поля. В этой связи целесообразно применять этот метод при низких влажностях (ниже 50%), т.е. в том диапазоне влажностей, где энергоемкость этого метода ниже, чем у конвекционного метода. Конвекционный способ предполагает подвод тепла к поверхности обрабатываемого продукта. Тепло может подводиться как за счет продувки нагретым воздухом, так и за счет теплового излучения. В процессе сушки тепло от поверхностных слоев передается вглубь продукта за счет собственной теплопроводности. При высоких влажностях сушка протекает эффективно, энергоемкость процесса близка к физическому пределу по испаренной влаге.

Значительно сократить продолжительность процесса, а значит, и снизить её себестоимость позволяют вакуумные технологии сушки материалов. Кроме того, возможность ведения процесса при более низких температурах позволяет исключить снижение качественных характеристик капиллярно-пористых коллоидных тел, что особенно важно при сушке пиломатериалов из древесины ценных трудносохнущих лиственных пород или термолабильных материалов.

Однако при сушке в вакууме возникает проблема подвода тепловой энергии к высушиваемому материалу. Такие известные методы подвода теплоты, как контактное, диэлектрическое нагревание или нагрев в СВЧ-поле не всегда позволяют получить требуемое качество или приводят к значительному удорожанию стоимости сушильного процесса. Поэтому наиболее перспективным направлением, как с позиций себестоимости процесса, так и с позиций качества получаемой продукции, считаются вакуумные технологии сушки с подводом тепла конвекцией, которые можно осуществлять путем чередования стадий нагрева и вакуумирования (осциллирующие технологии) или конвективной сушкой в разреженной среде. При этом в качестве теплоносителя могут быть использованы влажный горячий воздух, перегретый пар или гидрофобные жидкости.

Однако данные технологии до сих пор не имеют расчетной базы, позволяющей получить оптимальные режимные параметры процесса. Кроме того, нет четких рекомендаций по выбору той или иной технологии вакуумной сушки применительно к различным сортаментам капиллярно-пористых коллоидных материалов.

Постановка задачи. Сублимационный и микроволновой способ позволяют достичь более точного значения выходной влажности материала, но требуют высокотехнологичного и сложного оборудования. А конвекционный способ хорошо подходит для сушки материала во всем диапазоне влажностей и не требует дорогостоящего оборудования, а также обладает меньшей энергоемкостью при высоких влажностях материала. Поэтому более подробно предлагается рассмотреть методы автоматизации процесса сушки, основанные на конвекционном способе. Основными параметрами такого технологического процесса являются: температура и влажность сушильного агента, а также температура и влажность самого

материала.

Как правило, при конвекционном способе используются не автоматизированные сушильные системы [6, 7], в которых субъективно задают время нахождения материала в сушильном агрегате или уровень температуры сушильного агента. Из-за различных факторов, влияющих на процесс сушки, на выходе сушильного агрегата материал получается с заметным разбросом значения конечной влажности от требуемого. Это приводит к увеличению брака готовой продукции и повышению энергозатрат.

Снижение брака и энергозатрат может быть осуществлено за счет оптимальной системы управления исполнительными органами сушильного агрегата. Существуют системы управления температурой газов в отдельных агрегатах (в частности воздуха) в виде однопараметрических технологических контроллеров [8, 9, 10], но для сушки капиллярно пористых материалов они являются малопригодными, так как необходимо регулировать не только температуру сушильного воздуха, но и влажность материала в процессе сушки. Из-за отсутствия приборов автоматического контроля влажности КПМ в динамике отсутствуют и системы автоматического управления сушкой КПМ.

Известен метод косвенного контроля и прогнозирования влажности на выходе сушильного агрегата для макаронных изделий по разности температур сушильного воздуха в двух точках по ходу движения макарон [11]. Используя этот метод авторами предложен подход к созданию системы управления сушкой КПМ, который в общем виде заключается в построении 2-х контурной системы управления, причем первый контур (технологический контроллер) осуществляет регулирование скорости движения КПМ в зависимости от прогнозируемой влажности на выходе агрегата, а второй контур осуществляет регулирование температуры сушильного воздуха в случае, когда первый контур не дает положительных результатов [12]. Так как второй контур осуществляет циклические изменения температуры в виде нечетких, расплывчатых значений (больше меньше и т.д.), то для его реализации предполагается использовать аппарат нечеткой логики [13], т.е. второй контур является интеллектуальным контроллером.

Для этого контроллера могут быть использованы для операции фазификации функции принадлежности типа [14]:

$$\mu(x) = \exp(-a(x - b^2)), \quad (1)$$

где a и b – соответственно ширина и координата пика функции принадлежности.

А в качестве правил вывода следующие правила:

Правило 1: если x есть X_1 , то y есть Y_1 ;

Правило 2: если x есть X_2 , то y есть Y_2 ;

Правило k : если x есть X_m , то y есть Y_n .

(2)

Здесь x – входная лингвистическая переменная;
 X – терм-множество лингвистической переменной x ;
 y – выходная лингвистическая переменная;
 Y – терм-множество лингвистической переменной y ;
 k – количество правил вывода;
 m – количество терм в терм-мноестве X ;
 n – количество терм в терм-мноестве Y ;

При нескольких значениях выходной лингвистической переменной нами предлагается использовать в качестве результирующей переменной, полученной с помощью функций нечеткого минимума. Диапазоны изменения входных параметров в функции принадлежности и количество правил вывода окончательно уточняются, в соответствии с (2) в процессе экспериментальных исследований описанной 2-х контурной системы управления на имитационной модели.

Заключение. Способ автоматического управления процессом сушки КПМ, имеющий в своем составе технологический контроллер и интеллектуальный контроллер на основе нечеткой логики, ускоряет время переходного процесса, что позволит снизить брак выходного продукта, а следовательно и энергозатраты в процессе сушки.

Список литературы: 1. Патент RU №2101978, МПК A23L001/16. Способ сушки макаронных изделий/ *В.Е. Тукачев* (РФ) – опуб. 20.01.98 Бюл. №2 2. Патент RU №2111672, МПК A23B004/037 A23L003/44 F26B005/06 . Способ вакуумной сублимационной сушки/ *Л.П. Тимкин, Б.Н. Семенов, Р.Г. Суляев, М.А. Насыров, А.С. Бобер, В.Е. Иванов* (РФ) – опул. 27.05.98 Бюл. №15. 3. Патент RU №2062416, МПК F26B005/02. Способ акустической сушки капиллярно-пористых материалов/ *В.Н. Глазнев, А.Б. Глинский* (РФ) – опубл. 20.06.96 Бюл. №17. 4. Патент RU №2133934, МПК F26B003/347. Способ сушки материалов/ *С.В. Редькин, В.В. Аристов* (РФ) – опуб. 27.07.99 Бюл. №21. 5. Патент RU №2101630, МПК F26B003/347. Способ комбинированной сушки пиломатериалов/ *В.Н. Громыко, В.П. Галкин* (РФ) – опуб. 10.01.98 Бюл. №1. 6. *Чернов М.Е.* Макаронное производство. М.: МИР. 1994 - 208 с. 7. *Медведев Г.М.* Современные режимы и способы сушки макаронных изделий. Обзорная информация. Серия: Хлебопекарная и макаронная промышленность. ЦНИИТЭИ. Хлебинформ. М.: 1996 - 40 с. 8. Патент RU №217228, МПК F26B025/22. Способ автоматического управления процессом сушки/ *И.Т. Кретов, А.А. Шевцов, И.В. Лакомов* (РФ) – опубл. 10.08.98 Бюл. №22. 9. Патент RU №2150642, МПК F26B025/22. . Способ автоматического управления процессом сушки/ *И.Т. Кретов, А.А. Шевцов, Ю.В. Ряховский* (РФ) – опубл. 10.06.00 Бюл. №16. 10. Патент RU №2108523 , МПК F26B025/22. . Способ автоматического управления процессом сушки продукта в сублимационной сушилке/ *А.А. Шецов, М.Н. Шахова, Ю.Н. Золотарев* (РФ) 10.04.98 Бюл. №10. 11. Патент RU №2186500, МПК A23L1/16. Способ производства макаронных изделий/ *В.О. Андреев, А.И. Суздальцев, С.Е. Тиняков* (РФ) – опубл. 10.08.02 Бюл. №22. 12. *Суздальцев А.И., Замяткин А.В.* Метод автоматизированного управления сушкой капиллярно-пористых материалов // Материалы международной научно-технической конференции «Приборостроение 2004» Винница – Ялта, 2004, с 327-331. 13. Прикладные нечеткие системы. Под редакцией *Т.Тэрано, К.Асот, М.Сгэно*, перевод с японского Ю.Н. Чернышова. М. Мир, 1993 г., 263 с. 14. *Гумбатов Р.Т.* Методология построения системы управления биохимической оптической вод с применением технологии искусственного интеллекта // Приборы и системы управления. №11, 1999, с.49.

Поступила в редколлегию 09.10.2011

Е.А. ЗВЯГИНЦЕВА, магистр НТУ «ХПИ»,
А.В. ДУДНИК, ст. преподаватель НТУ «ХПИ»

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДПТ

В статті розглянуто модель двигуна постійного струму, що побудована як рекуррентна нейронна мережа у просторі станів. Виведено співвідношення між параметрами двигуна та ваговими коефіцієнтами мережі. Проведене моделювання.

В статье рассмотрена модель двигателя постоянного тока, что построенная как рекуррентная нейронная сеть в пространстве состояний. Выведено соотношение между параметрами двигателя и взвешивающими коэффициентами сети. Проведенное моделирование.

The application of neural network is discussed in this article. The neural network model for DC motor in state space was obtained and modeled. Several equations for weight coefficients and motor parameters were obtained too.

Постановка проблемы. В условиях современного производства, когда проблема энергосбережения стоит весьма остро, электропривод остаётся одним из основных потребителей электроэнергии. По некоторым оценкам, на долю электропривода в Украине приходится более 60% затрат [1]. Снижать процент потребляемой энергии можно двумя путями: внесением изменений в производственный процесс (повышение его технологичности) и снижением потерь во время переходных процессов (техническое решение). Снижение затрат при переходных процессах особенно актуально для приводов, работающих в режимах частых пусков-остановок и реверсов (экскаваторы, прокатные станы, системы наведения вооружения танков и т.д.). При этом задачу снижения потерь энергии следует решать совместно с обратной ей задачей повышения производительности. Это приводит к необходимости создания оптимальных систем, зачастую реализующих сложные алгоритмы управления.

Анализ литературы. Среди множества различных классов электропривода по прежнему эксплуатируется привод постоянного тока, благодаря линейности характеристик, широкому диапазону регулирования скоростей и простому управлению. Правильная организация токовых диаграмм во время переходных процессов – суть алгоритма оптимального по затратам энергии управления [2]. Однако параметры двигателя, на точном знании которых строится алгоритм управления, подвержены изменениям, что объясняется явлениями намагничивания-размагничивания, нагревом и т.д. Изменения параметров требуют существенной коррекции алгоритмов управления, и коррекцию эту следует выполнять в процессе работы привода, что является сложной задачей. Одним из вариантов решения этой задачи является рекур-

рентная нейронная сеть. Такая сеть, будучи использована в качестве модели объекта, благодаря своей способности к обучению, сможет не только отслеживать изменения в работе объекта, но и позволит выполнять идентификацию его параметров. Рекуррентные нейронные сети Элмана, отображающие объект в пространстве состояний, позволяют с высокой точностью моделировать линейные и нелинейные объекты [3,4,5]. Особенностью таких сетей является строгая аналитическая зависимость между их весовыми коэффициентами и физическими параметрами моделируемого объекта.

Цель статьи. В данной работе предложено решение задачи идентификации параметров ДПТ путем использования рекуррентной нейронной сети.

Модель ДПТ в пространстве состояний. Рассмотрим модель двигателя постоянного тока, без учёта тиристорного выпрямителя. Модель такого объекта представлена на рис. 1.

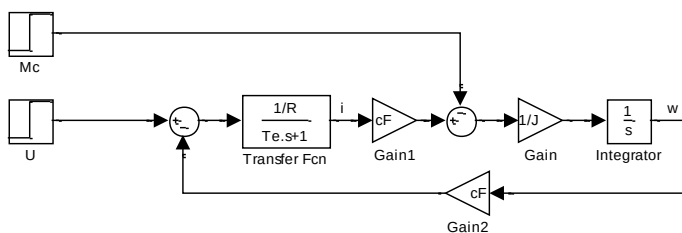


Рис. 1. Модель ДПТ. Входные воздействия U – управляющее напряжение, M_c – момент сопротивления на валу; выходные величины i – ток якоря, ω – скорость вращения; параметры R – активное сопротивление цепи якоря, T_e – постоянная якорной цепи, J – приведенный к валу двигателя момент инерции, $c\Phi$ – произведение кондуктивной постоянной на номинальный магнитный поток.

Описывается ДПТ следующей хорошо известной системой уравнений:

$$\begin{cases} U = Ri + L \frac{di}{dt} + c\Phi\omega; \\ J \frac{d\omega}{dt} = c\Phi i - M_c. \end{cases} \quad (1)$$

Поскольку для построения нейронной сети нас интересует представление объекта в пространстве состояний, то выполним нормальное преобразование системы (1) к известному виду:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu; \\ y = Cx, \end{cases} \quad (2)$$

где x – вектор переменных состояния; u – вектор выходных переменных; u – вектор входных воздействий; A , B , C – матрицы состояния, управления и выхода соответственно. Дальнейшее рассмотрение будем вести, опираясь на методику, изложенную в [5]. Так как выполняется нормальное преобразова-

ние, то переменные состояния будут представлять собой физические величины. Ими будут i и ω , т.е. $x = \begin{bmatrix} i \\ \omega \end{bmatrix}$. В этом случае $x = y$, т.е. выходные величины

совпадают с переменными состояниями, и матрица $C = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$. Следова-

тельно, далее будем рассматривать только первое уравнение из (2). Вектор входных воздействий включает в себя управляющее напряжение и момент

сопротивления на валу, т.е. $u = \begin{bmatrix} u \\ M_c \end{bmatrix}$.

Далее запишем оба уравнения системы в форме Коши, при этом в правой части каждого из них отобразим все составляющие вектора состояний и входных воздействий со своими коэффициентами. Получим:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = -\frac{1}{T_e}i - \frac{c\Phi}{RT_e}\omega + \frac{1}{RT_e}u + 0 \cdot M_c; \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{c\Phi}{J}i + 0 \cdot \omega + 0 \cdot u - \frac{1}{J}M_c. \end{cases} \quad (3)$$

Учитывая выше сказанное, полученная система (3) представляет собой первое уравнение системы (2), записанное в развернутом виде. Следовательно, можем определить матрицы А и В:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_e} & -\frac{c\Phi}{RT_e} \\ \frac{c\Phi}{J} & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{RT_e} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Модель ДПТ в виде рекуррентной нейронной сети. Нейронная сеть реализуется дискретно, следовательно, первое уравнение системы (2) примет вид

$$\dot{x}(n) = Ax(n) + Bu(n), \quad (5)$$

где n – номер отсчёта. Пусть T – период дискретизации, тогда производная переменных состояния с прогнозированием на шаг вперёд будет определяться как $\frac{x(n+1) - x(n)}{T}$. Подставив значение производной в (5) и приведя подобные, получим

$$x(n+1) = [I + TA]x(n) + TBu(n), \quad (6)$$

где I – единичная матрица.

Из (6) можно определить весовые коэффициенты рекуррентного слоя нейронной модели:

- коэффициенты для переменных состояния $LW = I + TA$;
- коэффициенты для управляющих сигналов $IW = TB$.

Подставив определённые ранее значения матриц A и B , получим значения весовых коэффициентов для нейронной модели ДПТ:

$$LW = \begin{bmatrix} 1 - \frac{T}{T_e} & -\frac{T \cdot c\Phi}{RT_e} \\ \frac{T \cdot c\Phi}{J} & 1 \end{bmatrix}, \quad IW = \begin{bmatrix} \frac{T}{RT_e} & 0 \\ 0 & -\frac{T}{J} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Разрабатываемая модель будет иметь вид сети Эльмана с двумя нейронами в 1-м рекуррентном слое и двумя нейронами в выходном слое. Функции активации для обоих слоёв линейные. Весовые коэффициенты для рекуррентного слоя берём из (7), а для выходного слоя – из выше описанной матрицы C (т.е. единичные коэффициенты). Модель ДПТ, реализованная как рекуррентная нейронная сеть представлена на рис. 2.

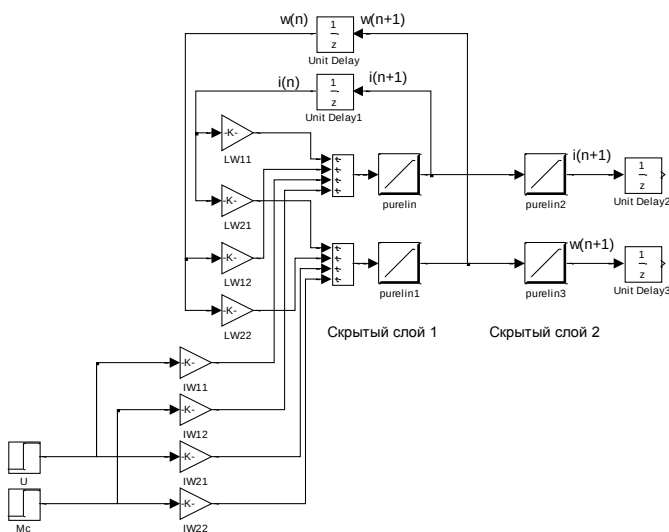


Рис. 2. Рекурсивная нейронная сеть в MATLAB

Два элемента запаздывания, которые расположены на выходе модели, выполняют функцию согласования по времени с результатами схемы, приведенной на рис. 1.

Моделирование выполним для параметров ДПТ, указанных в табл. Там же приведены значения ошибок по току и скорости вращения, полученные на нейронной сети.

Таблица. Параметры ДПТ и ошибки моделирования

R, Ом	T _e , с	J, кг·м ²	сФ, В·с	Ошибка по току якоря	Ошибка по скорости вращения
0,553	0,212	0,105	0,583	2,25 %	1,57 %
0,476	0,159	0,144	0,634	3,19 %	1,19 %

Как видно из таблицы, погрешность по току не превышает 3,2%, а по скорости — 1,6%, что обеспечивает достаточную точность моделирования.

Учитывая, что в реальном объекте параметры изменяются, то важным становится вопрос об изменении весовых коэффициентов модели. Весовые коэффициенты будут корректироваться по мере отклонения параметров ДПТ от своих исходных значений — в этом проявляется замечательное свойство нейронных сетей. Далее по весовым коэффициентам определяются текущие значения параметров ДПТ. Соотношения для этого получаются из (7) и имеют вид:

$$T_e = \frac{T}{1 - LW_{11}}; \quad J = -\frac{T}{IW_{22}}; \quad R = \frac{1 - LW_{11}}{IW_{12}}; \quad c\Phi = -\frac{LW_{21}}{IW_{22}}.$$

Выводы. Рассмотрена рекуррентная модель ДПТ, характеризующаяся высокой точностью. Были выведены соотношения для определения параметров ДПТ по весовым коэффициентам модели.

Дальнейшие исследования будут направлены на рассмотрение алгоритма обучения рекуррентной нейронной сети.

Список литературы: 1. Клепиков В.Б., Розов В.Ю. О роли электропривода в решении проблем энергосбережения в Украине // Вестник НТУ «ХПИ»: сборник научных трудов «Проблемы автоматизированного привода. Теория и практика». — Харьков — 2008, № 30 — с. 18-21. 2. Дудник О.В. Оцінка можливостей енергозаощадження в позиційних електроприводах постійного струму // Вестник НТУ «ХПИ»: сборник научных трудов «Новые решения в современных технологиях». — Харьков — 2002, № 6, Т.2 — с. 141-147. 3. Орловский И.А. Нахождение параметров нелинейных регуляторов в системах электропривода с использованием искусственного интеллекта // Технічна електродинаміка «Проблеми сучасної електротехніки» — 2006 — Ч.7 — с. 57-62. 4. Орловский И.А. Определение параметров привода постоянного тока в режиме ограничения тока якоря // Електротехніка та електроенергетика. — 2002 — № 1 — с. 63-66. 5. Орловский И.А. Модель тиристорного электропривода постоянного тока на рекуррентных нейронных сетях // Радіоелектроніка, інформатика, управління. — 2006 — № 1 — с. 151-159.

Поступила в редколлегию 07.04.2011

А.А. ЗУЕВ, ст. преподаватель НТУ "ХПИ",
Д.А. ГАПОН, ст. преподаватель НТУ "ХПИ"

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ В ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Стаття присвячена розробці математичних основ моделювання в реальному масштабі часу руху гусеничної техніки по довільній поверхні, з урахуванням фізичних і механічних властивостей поверхні. Наведено основні формули і співвідношення, а також алгоритм функціонування моделі руху з високим ступенем реалістичності, яку можливо реалізувати на сучасних обчислювальних засобах.

Статья посвящена разработке математических основ моделирования в реальном масштабе времени движения гусеничной техники по произвольной поверхности, с учетом физических и механических свойств поверхности. Приведены основные формулы и соотношения, а также алгоритм функционирования модели движения с высокой степенью реалистичности, которую возможно реализовать на современных вычислительных средствах.

This article is devoted to the development of mathematical foundations of modeling real-time traffic tracked vehicles on any surface, taking into account the physical and mechanical properties of the surface. The basic formulas and relations, as well as the functioning algorithm of the model with a high degree of realism that can be implemented in today's computing hardware are given.

Постановка проблемы. Высокая производительность современных вычислительных средств позволяет обрабатывать достаточно сложные математические алгоритмы в реальном времени. Одним из прикладных направлений такого моделирования можно считать создание различных тренажерных средств и комплексов, в основе которых лежит виртуальная модель технических средств и их взаимодействия с окружающим миром. Применение тренажеров боевой техники позволяет не только многократно снизить стоимость обучения, но и выработать навыки, связанные с ситуациями которые крайне сложно или невозможно воссоздать в реальном мире. При этом достоверность моделирования играет ключевую роль в качестве обучения.

При моделировании гусеничной военной техники одной из наиболее важных и сложных задач, является описание реалистичного движения техники по различным поверхностям с учетом их геометрических и механических свойств. Большую часть времени в боевой обстановке движение осуществляется по различным естественным грунтам, однако необходимо также учитывать случай искусственных поверхностей, таких как асфальтовое или бетонное покрытие.

Анализ литературы. Достаточно полное математическое описание гусеничного движителя и его взаимодействия с поверхностью дано в [1]. Однако данное описание предназначено для выполнения инженерных расчетов и

не может быть применено для моделирования движения с помощью вычислительной техники в реальном времени.

Модель, приведенная в [2], имеет наименьшую вычислительную сложность. Так, для гусеничного движителя уравнение моментов приложенных к ведущим колесам, ленивцам и опорным каткам при движении по горизонтальной поверхности имеет следующий вид:

$$M_k = (F_k - F_n)r_k + M_d + M_c + M_j, \quad (1)$$

где F_k - реакция почвы направленная по движению машины, F_n - лобовое сопротивление, возникающее вследствие прессования почвы, M_d - момент всех сил трения в движителе, M_c - момент сопротивления перекатыванию, M_j - момент касательных сил инерции деталей гусениц, редуцированных к ведущему колесу.

При высокой удельной мощности, характерной для современной гусеничной военной техники, без значительного ущерба для достоверности модели можно пренебречь значениями M_d и M_j . Такая модель, также, позволяет провести инженерный расчет, однако не пригодна для моделирования движения по ландшафту сложной формы, содержащему различные типы грунтов и поверхностей.

Физическая модель, рассмотренная в [3] основана на модели Ф.А. Опейко:

$$M(x, y) = \iint_F \varphi_x(\xi, \eta, x, y) q(\xi, \eta) \frac{(y-\eta)^2}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} dF + \\ + \iint_F \varphi_y(\xi, \eta, x, y) q(\xi, \eta) \frac{(x-\xi)^2}{\sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}} dF, \quad (2)$$

где F – площадь контакта с поверхностью, ξ, η - текущие координаты элементарной площадки пластины; $\varphi_x(\xi, \eta, x, y)$, $\varphi_y(\xi, \eta, x, y)$ - коэффициенты трения скольжения в точке ξ, η , связанные годографом; $q(\xi, \eta)$ - нормальное давление на площадке в точке ξ, η ; x, y – координаты центра вращения. При этом предполагается, что трение анизотропно.

Несмотря на то, что такая модель является наиболее точной из рассмотренных, она требует значительных затрат вычислительной мощности. При этом необходимо аналитическое определение свойств поверхности в каждой точке ее взаимодействия с движителем, что в общем случае невыполнимо. Наиболее приемлемым

В литературе же посвященной физическим моделям, применяемым в интерактивных развлекательных приложениях, рассматриваются лишь общие принципы построения физических моделей [4].

Цель статьи. Усовершенствование некоторых элементов математической модели гусеничного движителя, связанных с учетом свойств поверхности, по которой осуществляется движение, а также различных механизмов и

узлов, влияющих на характер движения – таких как фрикционы, тормоза, трансмиссия и т.д.

Основной раздел. Основной проблемой при моделировании является учет сил трения и взаимодействия гусеницы с поверхностью. Эти силы распределены по всей поверхности соприкосновения движителя с грунтом. Причем, как указано в [3] коэффициенты сцепления могут быть разными для каждой точки соприкосновения, что требует вычисления громоздких интегральных уравнений. Однако в большинстве случаев такой подход является избыточным, поэтому вычислительная модель может быть значительно упрощена. Следует учитывать, что в реальных ландшафтах однородные поверхности имеют значительные протяженности, границы переходов между различными типами поверхности размыты, а коэффициенты сцепления отличаются незначительно. Тогда, можно принять, что для всей поверхности одного конечного элемента движителя (колесо, трак) сила давления на грунт и тип грунта совпадают, и вместо распределенных сил использовать одну общую, приложенную в геометрическом центре площадки контакта элемента движителя и грунта. Что позволит вместо интегральных уравнений применять достаточно простые алгебраические зависимости.

Силы взаимодействия с поверхностью F_r по своей природе являются силами трения и зависят от множества факторов, таких как: свойства движителя, сила давления на грунт, тип грунта, его влажность и т.д. Эти силы направлены на устранение разности скоростей между движителем и поверхностью.

В первом приближении можно считать, что сила трения при скольжении прямо пропорциональна произведению разности скоростей ΔV на давление движителя на грунт P_r :

$$F_r = S_r k_r \Delta V P_r, \quad (3)$$

где k_r - коэффициент, зависящий от свойств грунта и движителя, S_r - площадь контакта.

При отсутствии скольжения сила трения будет равна по модулю и противоположной по направлению силе, направленной на смещение объекта относительно поверхности. В этом случае может быть определено только максимальное значение, при превышении которого происходит переход в скольжение:

$$F_{r\max} = S_r k_{rs} P_r, \quad (4)$$

где k_{rs} - коэффициент сцепления при отсутствии скольжения.

В реальности сила давления на грунт будет определяться силой реакции подвески, так для колесного движителя можно записать:

$$P_r = \frac{F_z}{S_r}, \quad (5)$$

и, следовательно:

$$F_r = k_r \Delta V F_s. \quad (6)$$

В случае гусеничного движителя сила реакции подвески будет распределяться между несколькими траками, на которые опирается соответствующий каток, тогда, считая, что давление для каждого из траков одинаково:

$$F_r = k_r \Delta V \frac{F_s}{n}, \quad (7)$$

где n - число траков. Так число траков, взаимодействующих с поверхностью, как правило, велико, то такая модель достаточно точно будет отражать характер движения независимо от наличия или отсутствия границ и переходов между различными грунтами. Очевидно, что эту же формулу можно использовать и для колесного движителя, считая $n = 1$.

Коэффициент трения k_r может быть определен как:

$$k_r = k_{rg} k_{rd}, \quad (8)$$

где k_{rg} - составляющая, определяемая свойствами грунта, а k_{rd} - свойствами движителя.

Коэффициенты сцепления для различных грунтов можно получить из справочников [1, 2].

Далее следует учесть, что для большинства движителей коэффициенты сцепления в направлении движения, и в перпендикулярном направлении отличаются. Тогда, согласно принципу суперпозиции, силы трения могут быть разделены на две ортогональные составляющие F_{rf} - продольную и F_{rs} - поперечную, которые будут отличаться только коэффициентами трения движителя k_{rdf} и k_{rds} соответственно:

$$\begin{cases} F_{rf} = k_{rg} k_{rdf} \Delta V_f \frac{F_s}{n} \\ F_{rs} = k_{rg} k_{rds} \Delta V_s \frac{F_s}{n} \end{cases}, \quad (9)$$

где ΔV_f - проекция скорости на продольную ось техники, ΔV_s - на поперечную.

Для достижения более высокой степени реалистичности моделирования следует также учитывать различие в коэффициентах трения покоя и скольжения. В качестве начального используется коэффициент трения покоя (качения). Если на каком либо такте сила сцепления становится недостаточной, и возникает скольжение, то в качестве расчетного принимается коэффициент сцепления скольжения. Возврат к первоначальному коэффициенту происходит при условии, что сила трения скольжения превышает уровень, необходимый для того, чтобы полностью исключить смещение движителя относительно грунта. Следует также учитывать, что при выполнении поворота вся поверхность гусениц также переходит в режим скольжения, что влияет на коэффициенты сцепления как в продольном так и в поперечном направлении.

При движении техники, независимо от наличия или отсутствия скольжения, на движитель действуют силы, направленные на замедление движения. Эти силы зависят от скорости движения (вращения) и могут быть описаны некоторым интегральным коэффициентом k_t , называемого коэффициентом перекачивания [2] для каждого из типов грунтов. В простейшей модели сила сопротивления будет прямо пропорциональна скорости движения техники V и силе давления движителя на грунт. Поскольку разные элементы движителя могут взаимодействовать одновременно с несколькими типами грунтов, то и коэффициент k_t для них может отличаться, и, следовательно, силу также следует учитывать для каждого из элементов в отдельности:

$$F_t = k_t V \frac{F_z}{n}. \quad (10)$$

Таким образом, для реалистичного моделирования движения техники по ландшафту необходимо иметь набор грунтов, описываемых коэффициентами трения покоя k_{rgs} , трения скольжения k_{rgd} и сопротивления k_t отдельно для каждого из моделируемых типов движителя (колесный, гусеничный). Также, при необходимости, эти коэффициенты могут быть реализованы как функции влажности, что позволяет реалистично моделировать влияние погодных факторов (осадков).

В состав сил взаимодействия движителя F_r также входят силы, приводящие технику в движение. Одна из наиболее простых моделей может быть построена на основе алгоритма перераспределения кинетических импульсов. Пусть известна тяговая характеристика силовой установки техники. Тогда для определения энергии, приводящей технику в движение на каждом такте, расчет может быть разбит на следующие этапы:

1) расчет скорости вращения w_f движущихся частей силовой установки, так, как если бы силовая установка не имела связи с движителем, и вся вырабатываемая энергия накапливалась бы во вращающихся частях;

2) расчет скорости вращения w_d движущихся частей силовой установки на основе текущей скорости движителя, с учетом передаточных чисел всех промежуточных узлов трансмиссии, без учета вырабатываемой энергии силовой установки;

3) нахождение вращающего момента определяемого полученной разностью скоростей $w_f - w_d$;

4) перераспределение полученного вращающего момента ΔM между массой всей техники и вращающимися частями силовой установки, с учетом передаточных коэффициентов промежуточных звеньев трансмиссии.

Для нахождения разности моментов по пункту 3 приведенного алгоритма можно воспользоваться соотношением:

$$\Delta M_{rot} = J_z \left(w_f - \frac{(J_z w_f + J_t w_d)}{J_z + J_t / k_p} \right), \quad (11)$$

где J_s - момент инерции вращающихся частей двигателя, J_t - некоторый приведенный момент инерции техники, определяемый массой техники и радиусом качения колеса, k_p - результирующий передаточный коэффициент трансмиссии.

Далее полученный момент ограничивается сверху фрикционными и движителем, то есть:

$$\Delta M = \min(\Delta M_{rot}, M_{fr}, M_d), \quad (12)$$

где M_{fr} - момент, который может быть передан фрикционом за одну дискрету времени, M_d - момент, который может быть реализован движителем за одну дискрету времени.

После этого, выполняется замедление вращения частей силовой установки на величину полученного момента, и эта же величина применяется в виде импульсов, распределенных по поверхности контакта движителя и ландшафта. Вследствие этого, работу всех сил взаимодействия F_r также следует рассматривать в виде набора импульсов, действующих на технику в местах соприкосновения движителя и грунта.

Выводы. Основным преимуществом такого алгоритма является возможность учета различных дополнительных условий. Очевидно, что величина момента, который может быть передан от силовой установки к движителю, ограничена сверху силами трения движителя и грунта. При превышении сил сцепления может возникнуть явление пробуксовки движителя. Кроме того, аналогичным образом, момент ограничивается трансмиссией и, в частности, системой фрикционов. Без учета этих систем, например, невозможно корректно реализовать работу педалей механика-водителя в процессе трогания с места или при переключении передач. При этом затраты вычислительной мощности позволяют моделировать в реальном времени одновременно несколько десятков гусеничных машин на одном неспециализированном процессоре.

Список литературы: 1. Балдин В. А. Теория и конструкция танков // В. А. Балдин. Академия бронетанковых войск им. Малиновского. Изд. академии. - М.: 1972. - 781 с. 2. Машиностроение. Энциклопедический справочник. В 15 томах. Том 11. А. Д. Абрамович, С. И. Березовский, Н. Ф. Вержбицкий. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва, 1948. - 456 с. 3. Кондаков С. В., Черепанов С. И. Моделирование взаимодействия гусениц с грунтом при неустановившемся повороте быстроходной гусеничной машины // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». - 2008. - Вып. 12 - № 23 (123). - Челябинск : Изд. ЮУрГУ. - С. 26-31. 4. Когнер Д. Физика для разработчиков компьютерных игр. Пер. с англ. А.С. Малявко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 520 с.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ «ХПИ» Качановым П.А.

Поступила в редакцию 1.11.2011

А.В. ИВАШКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
А.И. ПОТАПЕНКО, аспирант НТУ «ХПИ»

АЛГОРИТМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

У статті розглянути алгоритми виділення об'єктів на статичних зображеннях. Проведено порівняльний аналіз методів виділення об'єктів з навчанням по прецедентах. На основі експерименту висунуті припущення щодо оптимального алгоритму пошуку об'єктів.

В статье рассмотреть алгоритмы выделения объектов на статических изображениях. Проведен сравнительный анализ методов выделения объектов с учебой по прецедентам. На основе эксперимента выдвинутые предположения относительно оптимального алгоритма поиска объектов.

The algorithms for object detection on static images are considered in the article. Comparative analysis of the machine-learning object detection methods is carried out. Assumption about the optimal detection algorithm is made on the basis of experimental investigations.

Задачей систем компьютерного зрения является анализ снимаемой с датчиков видеoinформации и получение символьной интерпретации, определяющей характер изображений, присутствующих в сцене, и выявление сравнительного пространственного взаимоположения объектов.

Одной из важных частных задач машинного зрения является задача распознавания объектов на изображениях, то есть определения, является ли предъявленное изображение отображением интересующего нас объекта. Распознавание объектов является, в общем случае, некорректно поставленной задачей (легко представить два объекта разной природы, одинаково выглядящих на изображении). Люди распознают множество объектов на изображениях с незначительными усилиями, несмотря на то, что вид объектов может изменяться в зависимости от точки наблюдения, удаления, угла зрения, освещения и т.д. Объекты можно распознать, даже если они частично скрыты из вида. Но для систем компьютерного зрения такая задача до сих пор является не до конца решенной.

Рассмотрим различные таксономии для методов классификации в распознании образов. К настоящему времени ни одна из них не имеет бесспорного преимущества по сравнению с конкурентами. Наиболее принципиальная дихотомия проходит между статистическими и синтаксическими классификаторами.

Статистические методы принятия решения могут быть далее разделены различными путями, в зависимости от тех свойств, которым мы хотим уделить особое внимание. Одна из часто используемых дихотомий – противопоставление параметрических и непараметрических методов. В параметрических методах особая функциональная форма подразумевается как функция плотностей вектора свойств, в то время как непараметрические методы ссы-

лаются непосредственно на доступные данные. Используются также полупараметрические методы, которые пытаются объединить лучшие качества обоих подходов, используя ограниченное число адаптируемых параметров в зависимости от внутренней сложности данных.

Часто используется также деление на нейронные и классические статистические методы. Это имеет смысл, только, если мы хотим рассматривать эти методы как полностью не связанные конкурирующие подходы. Другая крайность - это рассмотрение нейронных методов только как особый итеративный подход для получения классических результатов традиционных статистических методов.

Нейронные методы могут быть дополнительно охарактеризованы по процессу обучения: алгоритмы «с учителем» нуждаются в заранее классифицированных данных для обучения, в то время как алгоритмы «без учителя» могут также использовать некатегоризированные данные. Ввиду природы процесса классификации, в большинстве случаев применимы только алгоритмы «с учителем».

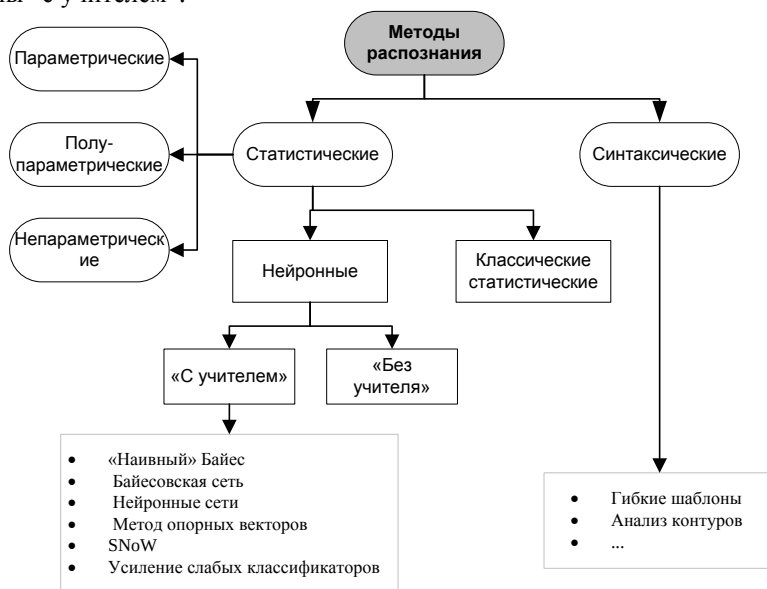


Рис. Методы распознавания изображений

Может возникнуть вопрос, почему мы предпочитаем именно статистические методы всем остальным. На самом деле, как с прагматичной, так и с теоретической точек зрения, преимущества статистических методов весьма убедительны:

- Сигналы с сенсоров и их характерные свойства проявляют вероятностный характер из-за шумов датчиков, изменяющихся условий освещения и ошибок алгоритмов предварительной обработки кадра;

- В общем случае, системы выделения объектов должны использовать всю имеющиеся источники информации, в том числе априорные знания и эмпирические данные. Требуется унифицированная математическая формулировка объединяющая все компоненты. В статистических алгоритмах, априорные знания кодируются в априорных вероятностных характеристиках объектов или их множественного появления в более сложных сценах (вероятностное моделирование сцены).

Стохастические свойства эмпирических данных суммируются в вероятностных коэффициентах характеризующих классы объектов. Согласно Байесовской теореме апостериорные данные объединяют в себе априорные данные и вероятностные характеристики классов в общем случае с помощью простого умножения;

- Еще одним фундаментальным аргументом в пользу статистических методов является то, что теория принятия решений гарантирует оптимальность Байесовских классификаторов, которые максимизируют апостериорные вероятности. Все классификаторы стремятся обеспечить модели для расчета (теоретически) оптимальных решений. Это соответствует аппроксимации апостериорной информации полученной из заданных данных для обучения. Использование статистических методов является прямым и наиболее естественным решением;

- Структуры алгоритмов обучения могут использовать обширные ресурсы статистики и теории статистического обучения. Если, к примеру, оценки апостериорных распределений основаны на параметрических функциях плотностей вероятности, то могут использоваться стандартные методики оценки параметров.

В дополнение к этим общим и фундаментальным преимуществам, вероятностный подход предлагает некоторые полезные инструменты для упрощения и увеличения вычислительной разрешимости; объединение независимых предположений о наблюдаемых характерных чертах ведет к компромиссным решениям и прокладывает путь к разрешению противоречия между вычислительной эффективностью и подробностью моделей, которая должна обеспечить достаточную дискриминантную способность. Избавляясь от случайных переменных путем их интеграции, мы снижаем сложность, получаем возможность использования вероятностных моделей при неполных входных данных, и обеспечиваем методику для задания схем распознавания с иерархическими моделями.

Мы получим оптимальный классификатор, если сможем охарактеризовать статистические параметры объектов появляющихся в данных с сенсоров. Но обычно это весьма нетривиальная задача, которая сводится к фундаментальной проблеме определения и вычисления апостериорных данных на основе эмпирических данных. Без соответствующих вероятностных моделей и аккуратной аппроксимации апостериорных данных невозможно реализовать оптимальную систему выделения объектов.

Распознавание "снизу-вверх" использует инвариантные свойства изображений объектов, опираясь на то предположение, что если человек может без усилий распознать тот или иной объект на изображении независимо от его ориентации, условий освещения и индивидуальных особенностей, то должны существовать некоторые признаки присутствия объектов этого типа на изображении, инвариантные относительно условий съемки. Алгоритм работы методов распознавания "снизу-вверх" может быть кратко описан следующим образом:

1 Обнаружение элементов и особенностей, которые характерны для изображения объекта;

2 Анализ обнаруженных особенностей, вынесение решения о количестве и расположении объектов;

На основе обнаруженных характерных свойств формируется модель класса объектов. Модель строится автоматически по заранее собранному набору прецедентов - изображений, для которых известно, являются ли они изображениями объекта или нет. Наблюдением в данном случае, является некоторый «вектор признаков», полученный из исходного изображения некоторым преобразованием, отображающим изображения в пространство действительных векторов. Гипотеза, подлежащая проверке, - принадлежность изображения к классу изображений искомого объекта.

Таким образом, система распадается на два модуля: модуль преобразования изображения в вектор признаков и модуль классификации. Задачей модуля преобразования является наиболее полное и информативное представление изображения в виде числового вектора. Задачей модуля классификации является проверка гипотезы принадлежности изображения классу изображений объекта на основании наблюдения, которым является вектор признаков.

Модуль преобразования и модуль классификации тесно связаны. Главная цель модуля преобразования – представить изображение в форме наиболее удобной для модуля классификации. Основные требования, предъявляемые к модулю преобразования: скорость, наиболее полное и информативное представление данных, масштабируемость. Также является желательной инвариантность модуля преобразования к деформациям и пространственным искажениям объекта.

Проанализируем существующие методы классификации с обучением по прецедентам, применимые к задаче распознавания объектов на изображениях. Данные методы выбраны к рассмотрению, ввиду их общности и многообещающих результатов в реальных системах.

Опишем формальную постановку задачи для модуля классификации:

Вектор признаков $x \in X \subseteq R^n$ - является описанием объекта, которое представляется модулем преобразования.

Классом будем называть некоторое подмножество $K_y = \{x \in X | y^*(x) = y\}$ множества X . Пусть $y \in Y \subset Z$ - множество маркеров классов, будем рас-

сма́тривать случай бинарной классификации, то есть $Y=\{-1;+1\}$. Применительно к задаче распознавания объектов подразумевается два варианта – изображение есть изображение искомого объекта или какого-либо другого.

$X \xrightarrow{y^*} Y$ - отображение, определённое для всех $x \in X$, задающее разбиение X на подмножества K_y , которые могут пересекаться. Причина возможности пересечения классов, заключается в том, что вектор признаков есть всего лишь описание объекта, а не сам объект: описание может быть неточным и для двух разных объектов описания могут совпадать.

Обучающей выборкой называется набор пар (набор прецедентов) $T=(x_1,y_1), \dots, (x_i,y_i)$ для которых $y^*(x_i)=y_i, i=1,l$ то есть это известная информация об отображении $X \xrightarrow{y^*} Y$.

Для применения алгоритмов классификации и распознавания образов принимается следующая гипотеза:

Гипотеза: Множество $X \times Y$ является вероятностным пространством с вероятностной мерой P . Прецеденты $(x_1,y_1), \dots, (x_i,y_i)$ появляются случайно и независимо в соответствии с распределением P .

Задача классификации – построить функцию $F(x)$, классификатор, приближающую отображение y^* , основываясь на обучающей выборке $(x_1,y_1), \dots, (x_i,y_i)$.

Эмпирическим риском будем называть $P(F(x) \neq y | (x,y) \in T)$ то есть вероятность неверной работы классификатора для векторов признаков из обучающей выборки.

Общим риском будем называть $P(F(x) \neq y | x \in X)$, то есть вероятность того, что классификатор ошибётся на данных, не входивших в обучающую выборку. Основной целью при построении классификатора является минимизация именно общего риска. Так как напрямую вычислить величину общего риска невозможно, для проверки качества классификатора используется оценка ошибки на *контрольной выборке*, которая состоит из прецедентов, не входящих в обучающую выборку. Говорят, что классификатор обладает хорошей *обобщающей способностью*, если при обучении классификатор эффективно уменьшает общий риск, оценённый на контрольной выборке.

Алгоритм построения склонен к *переобучению*, если при минимизации эмпирического риска, общий риск начинает возрастать. Этот феномен связан с тем, что классификатор начинает обобщать признаки свойственные не данным в целом, конкретно прецедентам из обучающей выборки.

Байесовские методы классификации

Принцип максимума апостериорной вероятности основывается на трёх гипотезах:

1 Множество $X \times Y$ является вероятностным пространством с вероятностной мерой P . Прецеденты $(x_1,y_1), \dots, (x_i,y_i)$ появляются случайно и независимо в соответствии с распределением P ;

2 Известны плотности распределения классов $p_y(x) = p(x|K_y), y \in Y$, называемые функциями правдоподобия;

3 Известны вероятности появления объектов каждого из классов $P_y = P(K_y), y \in Y$, называемые априорными вероятностями.

При принятии данных гипотез решающее правило записывается в аналитическом виде:

$$F(x) = \arg \max_{y \in Y} P(K_y|x) = \arg \max_{y \in Y} p_y(x)P_y \quad (1)$$

Такой выбор решающего правила является оптимальным с точки зрения минимизации общего риска. Разделяющая поверхность в данном случае не имеет какой-либо четкой геометрической структуры.

Существуют системы обнаружения объектов на изображениях основанные на «наивном» Байесовском методе. Данный метод основывается на построении эмпирической плотности распределения вероятностей классов по обучающей выборке в предположении о независимости компонентов вектора признаков.

Проблема слабой обусловленности решается за счет выбора компактного представления вектора признаков. Практические результаты следующие:

- 1 В задаче распознавания лиц примерно 91% верных обнаружений и порядка 0,2% ложных срабатываний;
- 2 Алгоритм построения «наивного» Байесовского классификатора склонен к переобучению и чувствителен к шуму;
- 3 Скорость работы самого классификатора крайне высока, основное время может занимать вычисление вектора признаков.

Классические нейронные сети

Под термином нейронные сети скрывается целый класс алгоритмов. Основная идея, лежащая в основе нейронных сетей - это последовательное преобразование сигнала, параллельно работающими элементарными функциональными элементами, нейронами. Основной принцип настройки нейронной сети заключается в применении оптимизационных методов к минимизации среднеквадратичной ошибки, как следствие – склонность к переобучению. Главное преимущество нейронных сетей – гибкость. Возможность эвристических модификаций нейросетей почти безграничны. Нейросети относятся к классическим методам машинного зрения, хотя в последнее время стали терять популярность.

Системы распознавания объектов на изображениях, основанные на нейронных сетях, используют иерархическую архитектуру. Вначале вектор признаков обрабатывается грубой сетью с высоким уровнем ошибок второго рода, далее, если вектор не был классифицирован как не объект, решение корректируется более точной и более медленной сетью. Такой подход даёт вполне приемлемые результаты:

1 92% правильных обнаружений при 1,3% ошибок второго рода для задачи распознавания лиц;

2 Нейронные сети в целом склонны к переобучению, хотя и существуют некоторые методы, которые в частном случае могут решить эту проблему;

3 Устойчивость к шуму сильно зависит от конкретной архитектуры сети. В общем случае, нейросеть чувствительна к шуму;

4 Вычислительная сложность квадратично зависит от числа нейронов в скрытом слое.

Метод опорных векторов

Классический алгоритм заключается в построении линейной разделяющей поверхности (гиперплоскости), равноудалённой от выпуклых оболочек классов, выпуклая оболочка строится по прецедентам. Утверждается, что такая разделяющая гиперплоскость будет оптимальна, с точки зрения общего риска, относительно любых других возможных гиперплоскостей. Метод опорных векторов был успешно применён для задачи распознавания объектов на изображениях. Подход даёт следующие результаты:

1 При порядка 72% верных обнаружений порядка 0,6% ложных срабатываний, для задачи распознавания лиц.

2 Очень высокая устойчивость к переобучению

3 Чувствительность к шуму может регулироваться, за счет уменьшения точности. Обычно стараются найти компромисс между устойчивостью и точностью.

4 В системах распознавания объектов на изображениях метод даёт ускорение в несколько раз, по сравнению с нейронными сетями.

Разреженная просеивающая сеть

SNoW (Sparse network of Winnows) – особый вид нейронной сети. Вектор признаков полагается бинарным. Сеть состоит из двух (по числу возможных классов) линейных нейронов, связанных с компонентами вектора признаков. Классификация проходит по принципу победитель забирает всё.

SNoW считается достаточно эффективным методом для решения задачи обнаружения объектов на изображениях. SNoW превосходит по своим параметрам метод опорных векторов. На практике метод обладает следующими свойствами:

1 Порядка 94% верных обнаружений, при порядка 0,12% ложных срабатываний, для задачи распознавания лиц;

2 Склонность к переобучению не исследована. Следует отметить, что за счет простой классифицирующей функции, можно ожидать хорошей устойчивости к переобучению;

3 Устойчивость к шуму не исследована, но теоретически должна быть достаточно высокой;

4 За счёт просеивания компонент вектора признаков достигается высокая скорость - выше, чем у систем на основе метода опорных векторов.

Метод усиления слабых классификаторов

Усиление слабых классификаторов - это подход к решению задачи классификации, путём комбинирования примитивных классификаторов в один более сильный комитет. Основная идея метода заключается в итеративной минимизации выпуклого функционала ошибки классификации, путем добавления в комитет очередного слабого классификатора.

Для прикладных систем распознавания объектов на изображениях был построен каскад из комитетов слабых классификаторов, работавший по принципу последовательных приближений. Каскадный подход был специально создан для задачи распознавания объектов на изображениях. Его показатели превосходят все остальные системы:

1 95% верных обнаружений, порядка $1 \cdot 10^{-3}$ % ложных обнаружений для комитета, построенного методом AdaBoost.

2 Вычислительная сложность линейна по количеству итераций обучения. Самая быстрая существующая система - скорость в реальном времени.

Сравнение методов обучения по прецеденту

По показателям работы в реальных системах распознавания объектов на изображениях наиболее удачными оказались алгоритмы усиления слабых классификаторов и SNoW. Оба подхода обеспечивают высокую скорость, высокий уровень обнаружений и низкий уровень ошибок второго рода. Сводные данные для различных методов приведены в таблице.

Таблица. Сводные данные систем

Методы	Процент верных обнаружений	Ошибка второго рода
«Наивный» Байес	~91%	~0,2%
Байесовская сеть	~90%	~0,4%
Нейронные сети	~92%	~1,3%
Метод опорных векторов	~72%	~0,6%
SNoW	~94%	~0,12%
Усиление слабых классификаторов	~94%	~0,001%

Достаточно интересные результаты у системы, основанной на «наивном» Байесовском обучении. Единственным серьёзным недостатком системы является сильная зависимость от качества модуля преобразования. Фактически подход требует пересмотра представления изображения объекта интереса в векторе признаков для каждой конкретной задачи.

Нейронные сети и метод опорных векторов достаточно сильно уступают по показателям вышеперечисленным подходам. Главным недостатком нейросетей является низкая скорость и большое число ошибок второго рода. Метод опорных векторов выгодно отличается скоростью и низким уровнем ошибок второго рода, но имеет очень низкий процент верных обнаружений.

Для того чтобы проанализировать получившиеся результаты сравним различные методы выделения объектов в некотором общем виде. Итак, все четыре метода основываются на оптимизации некоторого функционала

ошибки $F(T, w)$, который, в свою очередь, зависит от обучающей выборки и T параметров классификатора w . Так как обучающая выборка фиксирована, параметр T можно опустить и, фактически, задача сводится к оптимизации $F(w)$ по w . Таким образом, решением, готовым классификатором, будет являться

$$w = \arg \min_w F(T, w) \quad (2)$$

Для нейросети w является набором её весов, для SNoW и метода опорных векторов представляет направляющий вектор разделяющей гиперплоскости. Для boosting w является вектором весов для всех возможных простых классификаторов, то есть, если какой-либо простой классификатор не вошёл в итоговый комитет, его вес полагается равным нулю.

Секрет успеха методов, показавших наилучшие результаты, может заключаться в одном их общем свойстве. Дело в том, что SNoW и boosting производят достаточно «разреженные решения», то есть w содержит множество нулей. В то же время, нейронные сети и метод опорных векторов получают достаточно «плотные» решения – большая часть компонентов w не равна нулю. Это может означать, что данные в задачах распознавания имеют особую структуру, наилучшим образом представимую «разреженной» моделью. На практике это означает, что, несмотря на высокую размерность вектора признаков, количество реально значимых компонент в нём не велико. В предположении о наличии шума «разреженные» методы также могут иметь преимущество, так как наиболее зашумлённые компоненты вектора признаков будут иметь нулевой вес и не влиять на решение. Для конкретной задачи размерность может быть сокращена, что и делается неявно «разреженными» методами.

Несмотря на активное развитие данного направления в последнее время, задачи компьютерного зрения еще очень далеки от своего решения. Более того, до сих пор не существует доминирующей и общепринятой парадигмы, в которой бы работало большинство исследователей.

Список литературы: 1. Y. Amit. 2D object detection and recognition: models, algorithms, and networks. - Massachusetts Institute of Technology. The MIT Press. -2002 – 325 с. 2. А. Кручинин. Распознавание образов для программистов. <http://blog.vidikon.com/> 3. Paul Viola and Michael J. Jones. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. IEEE CVPR, 2001. 4. В. Вежнев, А. Дегтярева. Обнаружение и локализация лица на изображении. Компьютерная графика и мультимедиа. Выпуск №1(3)/2003. 5. А. Вежнев. Методы классификации с обучением по прецедентам в задаче распознавания объектов на изображениях. Лаборатория КГ и Мультимедиа факультета ВМиК, МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия 6 . B. Bhanu, J. Peng. Adaptive Integrated Image Segmentation and Object Recognition. - IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics—part C: Applications and reviews, vol. 30, no. 4, - November 2000 7. R. E. Schapire, Y. Singer. Improved Boosting Algorithms Using Confidence-rated Predictions. Machine Learning, 37, 297–336, 1999.

Поступила в редколлегию 07.05.2011

С. И. КОНДРАШОВ, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой НТУ «ХПИ»,
Т. В. ДРОЗДОВА, аспирант НТУ «ХПИ».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ОПОРНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ «СИТУАЦИЯ – ДЕЙСТВИЕ»

В статті розглядаються експертні системи оцінювання якості освітніх послуг як системи з нечіткою логікою моделі «ситуація – дія». Наведена структурна схема таких систем та викладена їх головна ідея. Визначено оптимальну кількість опорних ситуацій при використанні трьох термів та при впливі на якість освіти одного групового показника.

В статье рассматриваются экспертные системы оценивания качества образовательных услуг как системы с нечеткой логикой модели «ситуация – действие». Приведена структурная схема таких систем и изложена их главная идея. Определено оптимальное количество опорных ситуаций при использовании трех термов и при влиянии на качество образования одного группового показателя.

Systems of expert evaluation of quality of educational services as systems with fuzzy logic of model «situation – act» are presented. The block scheme of this system is adduced and the basic idea is executed. The optimal number of situations standard at the use of three terms and influence on quality of education the one group indicator are determined.

Постановка проблемы. На сегодняшний день особую актуальность приобретают системы, которые предназначены для поддержки процессов принятия решений, например, экспертные системы. Такие системы оценивают состояние исследуемого объекта в целом и дают свои рекомендации, в то время как остаточный вывод остаётся за экспертом.

Основной недостаток экспертных систем заключается в сопоставлении описаний состояния объекта принятия решений (объекта управления) с условиями истинности продукций, а также в определении последовательности просмотра и анализа продукций при выводе решений. В результате этого предлагается рассматривать исследуемую систему как систему с нечёткой логикой (ССНЛ) модели управления «ситуация–действие» (С–Д) [1].

В системах (С–Д) продукции описываются в явном виде и представляют собой нечёткую базу знаний. Условия истинности продукции задаются эталонными нечёткими ситуациями. Кроме ситуаций, продукции содержат управляющие решения. Вывод решения заключается в сопоставлении описания текущего состояния объекта управления со всеми эталонными ситуациями, определении продукции с эталонной ситуацией, наиболее соответствующей входной нечёткой ситуации, и выдаче соответствующего управляющего решения.

В таком случае возникает вопрос об оптимальном количестве эталонных ситуаций, которое бы позволило наиболее эффективно реализовать систему (С–Д), не используя при этом большие объёмы оперативной памяти блока принятия решений управления ССНЛ, где хранится массив эталонных ситуаций.

Анализ литературы. Способ оценки качества с помощью модели (С–Д) практически не рассматривается в научных и периодических изданиях в области систем с нечеткой логикой. Некоторый опыт исследований в данной

области отражен в трудах таких ученых, как Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С. Я. [1], российских ученых Титова А.В. и Титова В.И. [2]. Существуют работы, показывающие возможность применения данного метода и направленные на оценку его эффективности [3,4].

Цель статьи. Определение оптимального числа опорных ситуаций для модели управления (С–Д) при исследовании качества предоставления образовательных услуг в высшем учебном заведении, которое позволяет сократить вычислительные затраты при идентификации входной ситуации.

Использование модели управления «ситуация–действие» для оценки качества образовательных услуг (ОУ) вуза. При разработке систем управления качеством образовательных систем целесообразно использовать ситуационный подход к принятию управленческих решений, одним из вариантов реализации которого является система, действующая по схеме «ситуация–действие» [2]. Такую систему можно представить в виде блок-схемы, представленной на рисунке 1.

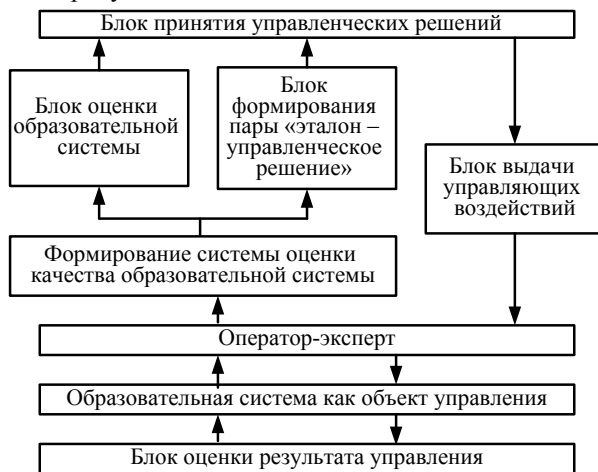


Рис. 1. Архитектура ССНЛ при управлении качеством образовательных систем

Центральной задачей в моделях типа «ситуация–действие» является задача сопоставления состоянию качества оцениваемой образовательной системы «ближайшего» эталонного состояния, которое определяет управляющее воздействие. Для решения этой задачи могут использоваться меры близости, которыми оценивается степень сходства нечетких множеств.

На первоначальном этапе разработки исследуемой системы определяет-ся необходимое для описания ситуации количество термов и количество опорных ситуаций для одного признака, характеризующего исследуемую ССНЛ. Далее рассматривается случай определения опорных ситуаций для нескольких характеризующих объект признаков, после чего составляются

правила “если..., то”, которые определяют функцию принадлежности в зависимости от этих признаков.

Задача определения числа опорных ситуаций при оценке качества вуза. Согласно процессной модели системы управления качеством вуза было выбрано три наиболее важных критерия качества ОУ: «Процесс поступления», «Процесс обучения», «Процесс получения результатов образования», которые являются групповыми показателями указанной системы управления.

Термами лингвистической переменной «Качество ОУ» могут быть: E_1 – низкое качество; E_2 – среднее качество; E_3 – высокое качество. Каждый терм может быть описан треугольной функцией принадлежности.

Состояние любого контролируемого объекта оценивается с помощью набора значений признаков, определенных в некоторый момент времени. Пусть $Z = \{z^j\}$, $j=1..p$ – множество признаков, значениями которых описывается состояние объекта управления [4].

Допустим, что качество предоставления образовательных услуг обуславливается только теми показателями, которые в совокупности определяют качество получения результатов образования. Используя математический аппарат теории нечетких множеств исследуемый признак удобно представить в виде текущей нечеткой ситуации S_0 . Тогда качество вуза характеризуется выражением $S_0 = \langle \langle 1/T_1 \rangle, \langle 0/T_2 \rangle, \langle 0/T_3 \rangle \rangle / z^1$, Качество получения результатов образования.

Пусть существует некоторая произвольно заданная входная ситуация S_0 и две опорные ситуации S_1 и S_2 , которые можно представить таким образом:

$$S_0 = \langle \langle \mu_{\mu(z^1)}(T_1^1)/T_1^1 \rangle, \langle \mu_{\mu(z^1)}(T_2^1)/T_2^1 \rangle, \langle \mu_{\mu(z^1)}(T_3^1)/T_3^1 \rangle \rangle / z^1,$$

$$S_1 = \langle \langle 1/T_1^1 \rangle, \langle 0/T_2^1 \rangle, \langle 0/T_3^1 \rangle \rangle / z^1,$$

$$S_2 = \langle \langle 0/T_1^1 \rangle, \langle 0/T_2^1 \rangle, \langle 1/T_3^1 \rangle \rangle / z^1,$$

где z^1 – качество получения результатов образования.

Алгоритм определения подобности ситуаций S_0 , S_1 , S_2 может быть представлен в виде:

$$\begin{aligned} \nu(S_0, S_1) &= \bigwedge_{z \in Z} (\mu_{S_0}(z^1), \mu_{S_1}(z^1)) = \bigwedge_{z \in Z} (\mu_{S_0}(z^1) \rightarrow \mu_{S_1}(z^1)) = \\ &= \bigwedge_{z \in Z} \{ \bigwedge_{j \in J} (\max(1 - \mu_{S_0}(T_j^1), \mu_{S_1}(T_j^1)), (\max(1 - \mu_{S_0}(T_j^1), \mu_{S_1}(T_j^1)), \\ &(\max(1 - \mu_{S_0}(T_j^1), \mu_{S_1}(T_j^1))) \} = \bigwedge_{j \in J} (\mu_{S_0}(T_j^1) \vee \mu_{S_1}(T_j^1)). \\ \nu(S_0, S_2) &= \bigwedge_{j \in J} (\mu_{S_0}(T_j^1) \vee \mu_{S_2}(T_j^1)). \end{aligned}$$

Полученные значения $\mu(S_0, S_1)$ и $\mu(S_0, S_2)$ указывают на степень достоверности определения нечеткого значения признака z^1 . Максимум значений $\mu(S_0, S_1)$ и $\mu(S_0, S_2)$ указывает на опорную ситуацию, наиболее близкую к текущей. Максимальные степени включения изображены на рис. 2.

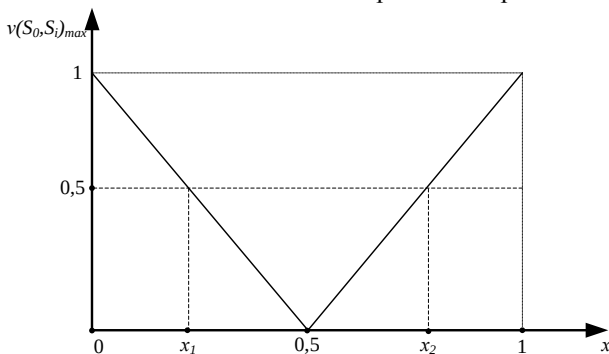


Рис. 2. График значений функции включения

Для задач оценки качества целесообразно принять порог $t_{inc}=0,5$, позволяющий исключить ситуацию индифферентности (кроме точки $t_{inc}=0,5$). Тогда нечеткое включение ситуации S_0 в S_1 с $t_{inc} \geq 0,5$ имеет место при $x \in [0, x_1]$, ситуации S_0 в S_2 — для $x \in [x_2, 1]$. В двух точках x_1 и x_2 наблюдается ситуация индифферентности. Для интервала значений $x \in [x_1, x_2]$ ситуация S_0 характеризует общее состояние качества образования с порогом $t_{inc} < 0,5$.

Так как $\mu(S_1, S_2) = \mu(S_2, S_1) = 0$, то иерархия ситуаций на множестве $S = \{S_1, S_2\}$ отсутствует и диаграмма Хассе имеет вид двух одноуровневых ситуаций (рис. 3), где пунктирной линией обозначены переходы к ситуациям при $t_{inc} < 0,5$.

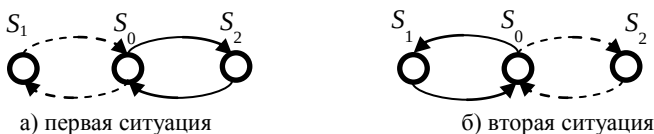


Рис. 3. Диаграммы Хассе для ситуационной модели для двух опорных ситуаций

В случае задания трех опорных ситуаций S_1, S_2, S_3 :

$$\begin{aligned} S_1 &= \langle \langle 1/T_1^1 \rangle, \langle 0/T_2^1 \rangle, \langle 0/T_3^1 \rangle / z^1 \rangle, \\ S_2 &= \langle \langle 0,5/T_1^1 \rangle, \langle 1/T_2^1 \rangle, \langle 0,5/T_3^1 \rangle / z^1 \rangle, \\ S_3 &= \langle \langle 0/T_1^1 \rangle, \langle 0/T_2^1 \rangle, \langle 1/T_3^1 \rangle / z^1 \rangle, \end{aligned}$$

график значений функций включения аналогичен графику, изображенному на рис. 2. Следует отметить, что опорная ситуация плохо определена для термов T_1^i и T_3^i . Степень их принадлежности равна 0,5 и принадлежит интервалу $x_1 < x < x_2$ даже на пороге $t_{inc}=0,5$. Результат определения наиболее близкой опорной ситуации при $x \in [x_1, x_2]$ будет всегда одинаков, то есть $\mathcal{I}(S_0, S_2)=0,5$, а значит, все ситуации S_0 будут включаться только в ситуацию S_2 . Все ситуации при $x \in [0, x_1]$ будут включаться в S_1 , а в диапазоне $x \in [x_2, 1]$ – в S_3 . Диаграмма Хассе в этом случае приобретает вид, изображенный на рис. 4.

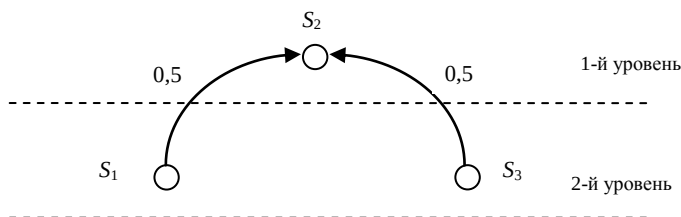


Рис. 4. Диаграмма Хассе для ситуационной модели для трех опорных ситуаций

Добавление третьей опорной ситуации S_3 позволяет замкнуть граф состояний нечеткого отношения, но это замыкание выполнено на уровне инцидентности $t_{inc}=0,5$. Кроме того, состояние индифферентности ($t_{inc}=0,5$) для $x \in [x_1, x_2]$ не позволяет численно оценить качество получения результатов образования. Вышесказанное обуславливает необходимость поиска путей исключения индифферентности ситуаций для включений $\mathcal{I}(S_0, S_1)$ и $\mathcal{I}(S_0, S_3)$.

Пусть сформированы четыре опорные ситуации S_1, S_2, S_3, S_4 , такие что:

$$\begin{aligned} S_1 &= \{ \langle \langle 1/T_1^1 \rangle, \langle 0/T_2^1 \rangle, \langle 0/T_3^1 \rangle / z^1 \rangle \}, x=0; \\ S_2 &= \{ \langle \langle (2/3)/T_1^1 \rangle, \langle (2/3)/T_2^1 \rangle, \langle (1/3)/T_3^1 \rangle / z^1 \rangle \}, x=1/3; \\ S_3 &= \{ \langle \langle (1/3)/T_1^1 \rangle, \langle (2/3)/T_2^1 \rangle, \langle (2/3)/T_3^1 \rangle / z^1 \rangle \}, x=2/3; \\ S_4 &= \{ \langle \langle 0/T_1^1 \rangle, \langle 0/T_2^1 \rangle, \langle 1/T_3^1 \rangle / z^1 \rangle \}, x=1. \end{aligned}$$

Для четырех опорных ситуаций диаграмма Хассе представлена на рис. 5, а максимальные степени включения в опорные ситуации – на рис. 6.

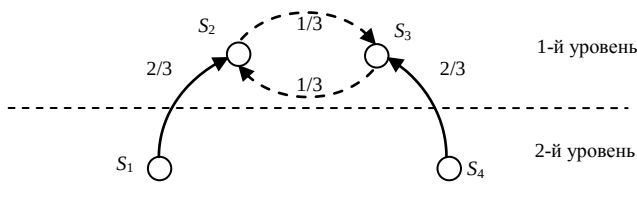


Рис. 5. Диаграмма Хассе для четырех опорных ситуаций

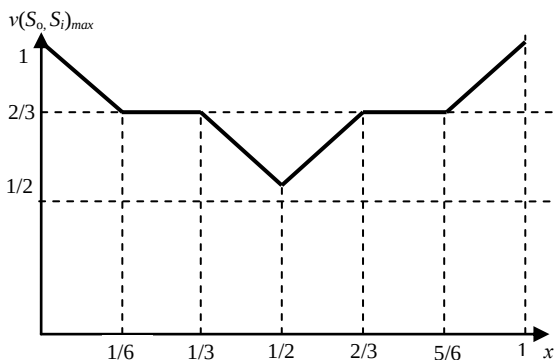


Рис. 6. График максимальных значений степеней включения ситуаций

Таким образом, как видно из рисунка 6, использование четырех опорных ситуаций исключает наличие зон индифферентности, сводя его к точке в середине диапазона. Использование большего числа опорных ситуаций усложнит алгоритм идентификации ситуации, а также повысит размерность матрицы нечеткой инциденции.

Выводы. В статье предлагается экспертные системы рассматривать как системы с нечеткой логикой модели «ситуация–действие», одним из первых этапов разработки которой является определение оптимального количества опорных ситуаций для дальнейшего их сравнения с входной ситуацией.

Исследования показали, что при использовании трех термов и двух или трех опорных ситуаций присутствует область неопределенности, где оценить текущую ситуацию исследуемого объекта невозможно. Также присутствует явление индифферентности. При использовании четырех опорных ситуаций ситуация индифферентности имеет место лишь в одной точке шкалы $x=0,5$. В этом случае степень включения текущей ситуации в опорные равна 0,5. Использование большего количества опорных ситуаций усложнит алгоритм идентификации и приведет к большим вычислительным затратам.

Система с нечёткой логикой модели «ситуация – действие» представляет интерес при построении различных шкал, что будет являться темой дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные со-
ветующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1990. 2. А.В. Титов,
И.А. Титов. Нечеткие меры сходства в аналитическом обеспечении стратегического управления.
М.: ИНИОН РАН, 2009.с.544-547 3. Векслер Е. М., Рифа В. М., Василевич Л. Ф. Менеджмент
якості: Навч. посіб./За заг. ред. Е. М. Векслера. – К.: «ВД «Професіонал», 2008. – 320 с. 4. Конд-
рашов С. І. Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірюваль-
них перетворювачів у робочих режимах/ монографія. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004.

Поступила в редколлегию 06.11.2011

В.А. КРЫЛОВА, ассистент НТУ "ХПИ"

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ГНЕЗДОВЫХ СВЁРТОЧНЫХ КОДОВ

У статті запропоновані методи вибору параметрів гніздових згортальних кодів із змінними параметрами. На основі кордону Гільберта для гніздових кодів визначається вираз, який дозволяє визначити параметри гніздових згортальних кодів, адекватні топологічним характеристикам послідовності помилок на виході дискретного каналу та оптимальні до її статистичними характеристикам.

В статье предложены методы выбора параметров гнездовых сверточных кодов с переменными параметрами. На основе границы Гильберта для гнездовых кодов определяется выражение, которое позволяет определить параметры гнездовых сверточных кодов, адекватные топологическим характеристикам последовательности ошибок на выходе дискретного канала и оптимальные к ее статистическим характеристикам.

In the article methods of selecting parameters nesting zhortalnyh codes with variable parameters. Based on the Hilbert boundary for nesting codes defined expression used to define the parameters of breeding zhortalnyh codes, adequate topological characteristics of the sequence of errors at the output of the discrete channel and the best to its statistical characteristics.

Постановка проблемы. При построении адаптируемой системы кодирования-декодирования для передачи информации в сетях связи с использованием гнездовых свёрточных кодов, возникает проблема выбора параметров кода. Как известно из [1] параметрами гнездового свёрточного кода, которые меняют свои значения в зависимости от состояния канала связи, являются: длина кодовой комбинации (n_0), длина кодового ограничения (ν) и порождающие полиномы (G). В настоящее время отсутствуют методологические основы, которые позволяют увязать параметры кода со статистическими характеристиками ошибок в реальных каналах связи, главной из которых при выборе параметров кода является топология ошибок. Проблемы, связанные с выбором параметров корректирующих гнездовых свёрточных кодов ($R=1/n$), обусловлены тем, что из вышеперечисленной тройки параметров кода, два из них априори должны быть заданы. Это обстоятельство является существенным ограничением при выборе кода, оптимального к статистике ошибок в реальных каналах связи. Выполненная ранее оценка потенциальных границ для вероятности ошибки декодирования позволяет снять указанное ограничение и увязать топологические характеристики разбиения последовательности ошибок на блоки с параметрами гнездовых свёрточных кодов.

Целью статьи является представление процедуры выбора параметров гнездовых свёрточных кодов. На основе границы Гильберта для гнездовых кодов со скоростью $R=1/n$ определяется выражение, которое позволяет определить параметры гнездовых свёрточных кодов, адекватные топологическим характеристикам (n, m) -разбиений последовательности ошибок $E(\nu)$ на выходе дискретного канала и оптимальные к ее статистическим характеристикам.

Основная часть. Для расчёта границы минимального расстояния для гнездовых свёрточных кодов воспользуемся уже полученными границами Варшамова-Гилберта, границей Плоткина, а также границей Элайеса для свёрточных кодов [2, 3].

1. Нижняя граница Варшамова-Гилберта для гнездовых свёрточных кодов с переменными параметрами.

Существует свёрточный код (vn_0, vk_0) с минимальным расстоянием, равным, по меньшей мере, d_g причем

$$\sum_{j=1}^{d_g-1} C_{n-k_0}^j \geq 2^{v(n_0-k_0)}. \quad (1)$$

Для гнездовых свёрточных кодов с $R=1/n_0$

$$\sum_{j=1}^{d_g-1} C_{n-1}^j \geq 2^{v(n_0-1)}. \quad (2)$$

2. Расчёт границы Плоткина для гнездовых свёрточных кодов.

Минимальное расстояние свёрточного (vn_0, vk_0) кода с длиной кодового ограничения v удовлетворяет неравенству

$$d \leq d_b + (n_0 - k_0) \left\lceil \frac{2^{d_b} - 2 - v(n_0 - k_0)}{k_0} \right\rceil, \quad (3)$$

где d_b – наибольшее целое число i , такое что $2^i - 2 - \log_2 i \leq v(n_0 - k_0)$.

3. Расчёт границы Элайеса для гнездовых свёрточных кодов.

Усечением свёрточного кода с длиной блока $n=vn_0$, где v произвольно, получим блочный код длины n . Скорость этого блочного кода также равна R , так как каждые k_0 информационных символов кодируются n_0 символами кодового слова. Минимальное расстояние этого усеченного кода не больше минимального расстояния наилучшего блочного кода. Следовательно, любая верхняя граница минимального расстояния блочного кода является также верхней границей минимального расстояния свёрточного кода.[2]

$$n - k \geq \log_2 C_n^v - \log_2 d \quad (4)$$

$$\text{где } v = 0,5 \cdot n \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{d-1}{2}} \right).$$

В зависимости от помеховой обстановки в канале передачи дискретной

информации возможны следующие различные задачи, связанные с проблемами выбора параметров и построения, на их основе корректирующих гнездовых свёрточных кодов ($R=1/n$):

- построение кода с максимальным значением d_{min} при заданных n и v ;
- построение кода с максимальным значением v при заданных n и d_{min} ;
- построение кода с максимальным значением n при заданных v и d_{min} .

Как следует из перечисленных задач, из тройки параметров кода, два из них априори должны быть заданы. Это обстоятельство является существенным ограничением при выборе кода, оптимального к статистике ошибок в реальных каналах связи.

Выполненная ранее оценка потенциальных границ для вероятности ошибки декодирования позволяет снять указанное ограничение и увязать топологические характеристики разбиения последовательности ошибок на блоки с параметрами свёрточных. Это следует из равенств

$$\sum_{v=1}^m v \cdot S_v^{[m]} = \sum_{v=1}^m v \cdot S_v^{[n]}, \quad (5)$$

$$P_{ош.дек}^* = \frac{\bar{p}_\sigma \cdot n - \sum_{v=1}^m v \cdot P(v, n)}{n}, \quad (6)$$

при выполнении условия:

$$\sum_{v=m+1}^n v \cdot S_v^{[n]} = 0 \quad (7)$$

При этом длина n -последовательности ошибок $e^{[n]}(v)$ адекватна кодовой длине блока n , а m ($m > v$) является весовой функцией ошибки на $e^{[n]}(v)$, минимизирующей значение потенциальной вероятности ошибки декодирования на множестве (n, m) - разбиений последовательности ошибок и связанной с минимальным кодовым расстоянием соотношением

$$m = \frac{d_{min} - 1}{2} \quad (8)$$

откуда $d_{min} = 2m + 1$.

После некоторых преобразований нижней границы Варшамова-Гилберта (формула 1) получаем

$$v_{min} \geq n - \log_2 \sum_{j=1}^{d_g-1} C_{n-1}^j \quad (9)$$

Из (9) следует выражение

$$R \geq 1 - \frac{\log_2 \sum_{j=1}^{d_g-1} C_{n-1}^j}{n} \quad (10)$$

для оценки нижней границы гнездового свёрточного кода скорости $R=1/n$. Таким образом, используя (8–10) представляется возможным определить параметры гнездовых свёрточных кодов, адекватные топологическим характеристикам (n, m) – разбиений последовательности ошибок $E(v)$ на выходе дискретного канала и оптимальные к ее статистическим характеристикам.

Разработанная методика расчета, и оптимизации параметров помехоустойчивых кодов на статистике ошибок дискретного канала в полной мере применима к оценкам гнездовых сверточных кодов. В отличие от блочковых кодов имеющих фиксированную длину кодового слова n , в сверточных кодах нет определенного размера кодового слова. Однако с помощью процедуры периодического отбрасывания сверточным кодам придают блочную структуру. Определение сверточного кода использует принцип, по которому проверочные символы кода являются линейной комбинацией от ряда предшествующих информационных символов.

Расчет вероятности ошибки на бит на выходе декодера максимального правдоподобия сводится к вычислению по формуле

$$P_e \leq \sum_{d=d_f}^{\infty} a_d P_d \quad (11)$$

где: C_k – набор коэффициентов для различных $d \geq d_f$, называемый спектром весов свёрточного кода; P_d – вероятность выбора при декодировании ошибочного пути веса $d=k$.

Таким образом, параметры гнездовых сверточных кодов при помощи (n, m) – разбиения на последовательности ошибок на выходе дискретного канала связи определяется соотношениями (8-10), а их эффективность может быть оценена в соответствии с формулой (11).

Список литературы: 1. Крылова В.А. Метод синтеза гнездовых свёрточных кодов с переменными параметрами / Крылова В.А., – Х.: НТУ "ХПИ", №11 2011.г. с. 80. 2. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / Блейхут Р. М.: Мир, 1986, 576 с. 3. Кларк Дж. Мл, Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. Пер. С англ. – М.: Радио и связь, 1987.г. с. 392. 4. Viterbi A.J. Convolutional codes and their performance in communication systems / Viterbi A.J. // IEEE Trans. Communicat. Tech., 2003, pp. 337.

Поступила в редколлегию 06.11.2011

Т.Г. МАЩЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХП»,
І.М. БОГАТИРЬОВ, доц. НТУ «ХП»,
К.В. КОМАРЧУК, студентка НТУ «ХП»

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ТА НАПРУГИ

У статті розглянуті питання застосування мікропроцесорного пристрою контролю магнітного поля та напруги для забезпечення безпечного функціонування та діагностики заземлюючих пристроїв енергооб'єктів.

В статье рассмотрены вопросы применения микропроцессорного устройства контроля магнитного поля и напряжения для обеспечения безопасного функционирования и диагностики заземляющих устройств энергообъектов.

There are the problems of using microprocessor device of control magnetic field and voltage for ensure safe functioning and diagnostic of earthing connection devices on the power facility.

Ключеві слова: система заземлення, електромагнітна діагностика заземлюючого пристрою, мікроконтролер, магнітне поле та напруга.

Постановка проблеми: Для забезпечення нормального функціонування та безпечної експлуатації багатьох електротехнічних комплексів необхідно діагностувати систему заземлення. Актуальність теми посилюється тим фактом, що в даний час технічні характеристики існуючих пристроїв діагностування мають багато недоліків і не задовольняють запитам, що необхідні для забезпечення безпеки і правильної експлуатації нової техніки.

Сучасний стан енергетики України такий, що пріоритетним є не будівництво нових підстанцій, а реконструкція існуючих, що можливо тільки при знанні реального розташування заземлювачів. При такій концепції необхідний пошук нових технічних засобів для систематичного контролю їх технічного стану, а також розробка і створення приладів для вирішення поставлених завдань.

Заземлюючі пристрої (ЗП) грають винятково важливу роль у забезпеченні нормального функціонування та безпечної експлуатації багатьох електротехнічних комплексів і установок, таких як відкриті та закриті розподільні пристрої всіх класів напруги від 0,4 до 750 кВ, автоматичні телефонні станції, нафто- і газоперекачувальні станції, машинні і комп'ютерні зали і т.і.

Від якості виконання ЗП залежить рівень надійності функціонування об'єкта в цілому, а також безпека обслуговуючого персоналу. Тому необхідно приділяти увагу якості ЗП нарівні з основним обладнанням на об'єкті. З плином часу ЗП видозмінювалися й удосконалювалися разом із зміною і вдосконаленням електроустановок. Еволюційно пристрої заземлення змінювалися від простих штучних елементів до найскладнішої заземлюючої системи, що

використовує надземні і підземні комунікації, штучні та природні заземлювачі, фундаменти обладнання та будівель і т.і. В даний час ЗП багатофункціональні, вони забезпечують надійну роботу об'єктів електроенергетики, як у робочих, так і в аварійних режимах.

Аналіз літератури: В роботах [1, 5] наведені характеристики та функції існуючих заземлюючих пристроїв. В [2, 3, 4] розглянуті методи їх контролю. До недавнього часу перевірка стану заземлюючих пристроїв була досить трудомістким процесом, так як передбачала відкопування об'єкту діагностування. З метою розширення функціональних можливостей пристроїв для тестування заземлюючів запропоноване технічне рішення дало можливість вимірювати два параметри одночасно і напругу, і напруженість магнітного поля. Прилад є багато частотним, має автоматичний вибір меж виміру та є менш інерційним ніж аналогові прилади. А головне, не потребує розтину ґрунту.

Заземлюючі пристрої залежно від призначення, умов експлуатації та розмірів електротехнічних пристроїв можуть являти собою як просту (вертикальний заземлювач, з'єднаний з об'єктом горизонтальним заземлювачем), так і складну розгалужену систему, що складається з безлічі горизонтальних і вертикальних заземлювачів, певним чином з'єднаних між собою і розташованих на заданій глибині.

Найбільш складні заземлюючі пристрої мають відкриті розподілені обчислювальні пристрої (ОП) магістральних та розподільчих підстанцій. Згідно нормативним документам ЗП електроустановок виконуються з дотриманням вимог або до їх опору, або до напруги дотику, а також до їх конструктивного виконання.

Більшість підстанцій в Україні виконано з дотриманням вимог до допустимого опору ЗП, яке згідно з нормативними документами періодично перевіряється. Однак, як показує досвід обстеження ЗП підстанцій, перевірка тільки одного параметра і зовнішній огляд контактних з'єднань не достатні для оцінки технічного стану і працездатності ЗП. На даний момент відсутні відповідні технічні засоби і апаратура, за допомогою яких можливо здійснити систематичний контроль подібного роду без розтину ґрунту.

Методи діагностування: В даний час для виявлення підземних комунікацій найбільше поширення отримав індукційний метод пошуку. В основі методу лежить принцип електромагнітної індукції: навколо провідника існує змінне електромагнітне поле певної частоти. Магнітна складова цього поля буде індукувати у внесеному в полі замкнутому контурі змінний струм тієї ж частоти. Тому що напруженість магнітного поля змінюється в площині, яка перпендикулярна до напрямку провідника, то, переміщуючи в цій площині приймальню котушку (антену), оператор зі зміни величини наведеного в ній струму може судити про місцезнаходження провідника.

Інший спосіб створити струм у провіднику - активний - примусове спонукання струму за допомогою індукційного або прямого (гальванічного) під-

ключення до нього спеціального генератора. При цьому вимірювач напруженості магнітного поля комплектується індукційним датчиком, що має вигляд круглої котушки без сердечника, що містить 5000 витків дроту ПЕВ - 2 діаметром 0,1 мм.

При роботі оператор рухається по поверхні землі у напрямі перпендикулярному до передбачуваної осі заглибленого провідника і стежить за показниками приймача. Поява максимуму сигналу свідчить про те, що датчик знаходиться строго над провідником. Це найбільш загальний і найбільш вірогідний метод пошуку.

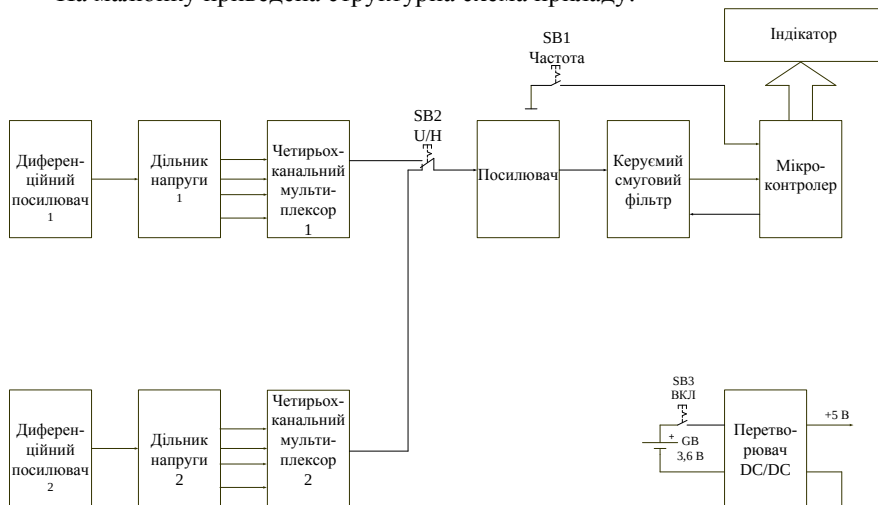
Слід мати на увазі, що на всіх енергооб'єктах, що знаходяться в експлуатації, присутні достатньо потужні електричні і магнітні поля промислової частоти, які можуть істотно спотворити вимірюваний сигнал як при пошуку траси заземлюючих шин, так і при вимірюванні напруг. Щоб уникнути цього генератор синусоїдального струму (ГСТ) має можливість виробляти струм декількох частот, які не кратні гармонікам частоти 50 Гц, а вимірювач повинен мати смугові фільтри цих частот з можливо більш вузькою смугою пропускання.

Виходячи з цього основними функціями пристрою повинні бути необхідність:

- 1) вимірювати напруженість магнітного поля;
- 2) вимірювати напругу в широкому динамічному діапазоні - від одиниць мілівольт до сотень Вольт.

Робота пристрою:

На малюнку приведена структурна схема приладу:



Принцип дії пристрою базується на цифрових методах обробки сигналів, вчасності виміру діючого значення напруги та напруженості магнітного поля з використанням цифрової фільтрації.

Роботу приладу розглянемо на прикладі каналу напруги. Вхідний сигнал синусоїдальної напруги разом з перешкодою надходить на диференційний каскад 1, де послаблюється в 120 разів. Це необхідно для узгодження максимальної вхідної напруги амплітудою до 140 В з напругою живлення схеми +5 В. Залежно від рівня вхідного сигналу мультіплексор 1 підключає до підсилювача те чи інше плече дільника 1. З виходу підсилювача сигнал надходить на вхід смугового фільтра. Сигнал з виходу смугового фільтра використовується як керуючий і як вимірювальний; він обробляється мікроконтролером для подальшого виведення на РК-індикатор. Частота сигналу напруги обирається кнопкою SB1.

Висновок: Таким чином, розроблений пристрій вимірює діюче значення напруги, має високу вибірковість в робочих частотах. Менша інерційність приладу дає можливість зробити більш точні виміри в зонах зміни частот. За рахунок невеликої ваги (до 300 грамів) розроблений діагностувальний пристрій є мобільним та зручним у використанні. Подальша робота буде направлена на реалізацію пристрою прямого цифрового фільтра за допомогою мікроконтролера.

Список літератури: 1. Борисов Р.К., Колишко Г.М., Гримуд Г.И., Васьковский А.П., Чевычелов В.А., Колишко Д.Г. Методика исследования заземляющих устройств объектов электроэнергетики // Энергетика и электрификация. – 2000. – № 4. – С. 29-32. 2. Ослон А. Б. Заземляющие устройства на линиях электропередачи и подстанциях высокого напряжения // Итоги науки и техн. ВИНТИ. Сер. электр. станции, сети и системы. – М.: ВИНТИ. – 1966. – С. 65-184. 3. Борисов Р.К., Балашов В.В. Об обеспечении электромагнитной совместимости на электроэнергетических объектах. Электричество. № 3, 1998, с. 26-32. 4. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с. 5. Хоровиц П., Хилл. У Искусство схемотехники: В 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. Изд. 2-у, стереотип. – М.: Мир, 1984.-598 с.

Статья представлена канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ» Машенко Т.Г.

Поступила в редакцию 14.11.2011

Т. Г. МАЩЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
А. М. КОЗЛОВА, студентка НТУ «ХПИ»

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ

У статті розглянуті особливості використання вейвлет-перетворень при обробці електрокардіограм, що дозволяє оцінити їх інформативні параметри при аналізі частотно-тимчасових характеристик компонент. Отримана інформація про стан серцево - судинної системи може бути використана для діагностики і своєчасного лікування захворювань серця.

В статье рассмотрены особенности использования вейвлет-превращений при обработке электрокардиограмм, что позволяет оценить их информативные параметры при анализе частотно-временных характеристик компонент. Полученная информация о состоянии сердечно - сосудистой системы может быть использована для диагностики и своевременного лечения заболеваний сердца.

In the article the considered features of the use of veyvlet-transformations are at treatment of electrocardiograms, that allows to estimate them informing parameters at an analysis frequency temporal descriptions component. Got state information cordially - vascular system can be used for diagnostics and timely treatment of diseases of heart.

Постановка проблеми. На цей час гостро стає питання діагностики серцево - судинних захворювань, які є причиною високої смертності не лише у дорослих, але і у дітей. Все частіше йдеться про несподіваних проявах кардіологічних захворювань у пацієнтів, які до цього випадку вважалися здоровими. Найпоширенішим методом при вивченні роботи серця є електрокардіографічне дослідження. Проте стандартні електрографічні методи мають невисоку чутливість до деяких патологічних процесів, які відбуваються в міокарді, що значно звужує їх вживання. Для деталізації діагнозу і поліпшення прогностичних оцінок останнім часом використовується метод дисперсійного картування. Він заснований на контролі низько – амплітудних змін електрокардіографічного сигналу. При цьому процедура зняття цих сигналів не обтяжлива для пацієнта, оскільки складає порядку 1-2 хвилини і може бути виконана в положенні сидячи без зняття одягу.

На основі отриманих результатів здійснюється ретельний контроль динаміки роботи серця, а також основних параметрів, які характеризують його роботу, що дозволяє своєчасно виявити симптоми патології на догоспітальному етапі або побачити розвиток негативних тенденцій на найраніших стадіях їх виникнення.

Мета статті полягає в оцінці ефективності вейвлет – перетворень при обробці кардіосигналов для діагностики захворювань серця.

Аналіз літератури: У роботах [1, 2] розглянуті основи електрокардіографії, приведені основні параметри ЕКГ, у [3] розглянута сутність методу дисперсійного картування. З метою розгляду функціональних можли-

востей методу ЕКГ приведені результати вейвлет аналізу біомедичних сигналів у [4, 5].

В електрокардіографії для виявлення й аналізу окремих компонентів електрокардіограми застосовуються різні методи обробки цифрових сигналів. Останнім часом широке використання одержала техніка вейвлет - перетворення, яка дозволяє одержати багатообіцяючі результати в аналізі частотно-тимчасових характеристик компонент електрокардіограми.

Вейвлет – перетворення сигналів є узагальненням спектрального аналізу, типовий представник якого – класичне перетворення Фур'є. Термін "вейвлет" (*wavelet*) у перекладі з англійської означає "маленька (коротка) хвиля". Вейвлети - це узагальнена назва сімейств математичних функцій певної форми, які локальні в часі й по частоті, і в які всі функції виходять із однієї базової за допомогою її зрушень і розтягувань по осі часу. Вейвлет - перетворення розглядають аналізовані тимчасові функції в термінах коливань, локалізованих за часом і частотою. Як правило, вейвлет - перетворення (*WT*) підрозділяють на дискретне (*DWT*) і безперервне (*CWT*) [4, 5].

DWT використовується для перетворень і кодування сигналів, *CWT* - для аналізу сигналів. Вейвлет - перетворення в цей час приймаються на озброєння для величезного числа різноманітних застосувань, нерідко замінюючи звичайне перетворення Фур'є. Це спостерігається в багатьох областях, включаючи обробку зображень і комп'ютерну графіку.

Основна область застосування вейвлетних перетворень - аналіз й обробка сигналів і функцій, нестационарних у часі або неоднорідних у просторі, коли результати аналізу повинні містити не тільки загальну частотну характеристику сигналу (розподіл енергії сигналу по частотних складових), але й відомості про певні локальні координати, на яких проявляють себе ті або інші групи частотних складових, або на яких відбуваються швидкі зміни частотних складових сигналу. У порівнянні з розкладанням сигналів на ряди Фур'є, вейвлети здатні з набагато більш високою точністю представляти локальні особливості сигналів, аж до розривів 1-го роду (стрибків). На відміну від перетворень Фур'є, вейвлет- перетворення одномірних сигналів забезпечує двовимірне розгорнення, при цьому частота й координата розглядаються як незалежні змінні, що дає можливість аналізу сигналів відразу у двох просторах.

Одна з головних й особливо плідних ідей вейвлетного подання сигналів на різних рівнях декомпозиції (розкладання) полягає в поділі функцій наближення до сигналу на дві групи: апроксимуючу - грубу, з досить повільною тимчасовою динамікою змін, і що деталізує - з локальною й швидкою динамікою змін на тлі плавної динаміки, з наступним їхнім дробленням і деталізацією на інших рівнях декомпозиції сигналів. Це можливо як у тимчасовий, так й у частотній областях подання сигналів вейвлетами.

Відмінною рисою вейвлет - аналізу є те, що в ньому можна використовувати сімейства функцій, що реалізують різні варіанти співвідношення невідзначеності. Відповідно, дослідник має можливість гнучкого вибору між ними

та застосування тих вейвлетних функцій, які найбільше ефективно вирішують поставлені задачі [4, 5].

Вейвлетний базис простору $L^2(R)$, $R(-\infty, +\infty)$ доцільно конструювати з функцій, що належать цьому ж простору, які повинні наближатися до нуля на нескінченності. Чим швидше ці функції прагнуть до нуля, тим зручніше використовувати їх як базис перетворення при аналізі реальних сигналів. Припустимо, що такою функцією є функція $\psi(t)$ $\square$, рівна нулю за межами деякого кінцевого інтервалу й нульове середнє значення по інтервалу завдання. Останнє необхідно для завдання певної локалізації спектра вейвлета в частотній області. На основі цієї функції сконструюємо базис у просторі $L^2(R)$ за допомогою масштабних перетворень незалежної змінної [4].

Функція зміни частотної незалежної змінної в спектральному поданні сигналів відображається в тимчасовому поданні розтяганням/стиском сигналу. Для вейвлетного базису це можна виконати функцією типу $\psi(t) = \psi(a^m t)$, $a = \text{const}$, $m = 0, 1, \dots, M$, тобто шляхом лінійної операції розтягання/стиску, що забезпечує самоподібна функції на різних масштабах подання. Однак кінцівка (локальність) функції $\psi(t)$ на тимчасовій осі вимагає додаткової незалежної змінної послідовних переносів (зрушень) функції $\psi(t)$ уздовж осі (параметра локалізації), типу $\psi(t) \Rightarrow \psi(t + k)$, для перекриття всієї числової осі простору $R(-\infty, \infty)$. З обліком обох умов одночасно структура базисної функції може бути прийнята наступною:

$$\psi(t) \Rightarrow \psi(a^m t + k). \quad (1)$$

Для спрощення подальших викладень значення змінних m й k приймемо цілочисленими. При приведенні функції (1) до одиничної норми, одержуємо:

$$\psi_{mk}(t) = a^{m/2} \psi(a^m t + k). \quad (2)$$

Якщо для сімейства функцій $\psi_{mk}(t)$ виконується умова ортогональності скористаємося рівнянням:

$$\langle \psi_{nk}(t), \psi_{lm}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_{nk}(t) \cdot \psi_{lm}(t) dt = \delta_{nl} \cdot \delta_{km}, \quad (3)$$

то сімейство $\psi_{mk}(t)$ може використовуватися в якості ортонормованого базису простору $L^2(R)$. Отже функція цього простору може бути представлена у

вигляді ряду (розкладання по базису $\psi_{mk}(t)$):

$$s(t) = \sum_{m,k=-\infty}^{\infty} S_{mk} \cdot \psi_{mk}(t), \quad (4)$$

де коефіцієнти подання сигналу - проекції сигналу на новий ортогональний базис функцій, як й у перетворенні Фур'є, визначаються скалярним добутком:

$$S_{mk}(t) = \langle s(t), \psi_{mk}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \psi_{mk}(t) dt. \quad (5)$$

При виконанні цих умов базисна функція перетворення $\psi(t)$ називається ортогональним вейвлетом [4]. Найпростішим прикладом ортогональної системи функцій такого типу є функція Хаара.

Вейвлетний спектр, на відміну від перетворення Фур'є, є двовимірним і визначає двовимірну поверхню в просторі змінних m та k . При графічному поданні параметр розтягання/стиску спектра m відкладається по осі абсцис, параметр локалізації k по осі ординат – осі незалежної змінної сигналу. Математику процесу вейвлетного розкладання сигналу в спрощеній формі розглянемо на прикладі розкладання сигналу $s(t)$ вейвлетом Хаара із трьома послідовними по масштабу m вейвлетними функціями з параметром $a = 2$, при цьому сам сигнал $s(t)$ утворимо підсумовуванням цих же вейвлетних функцій з однаковою амплітудою з різним зрушенням від нуля, як це показано на рис. 1

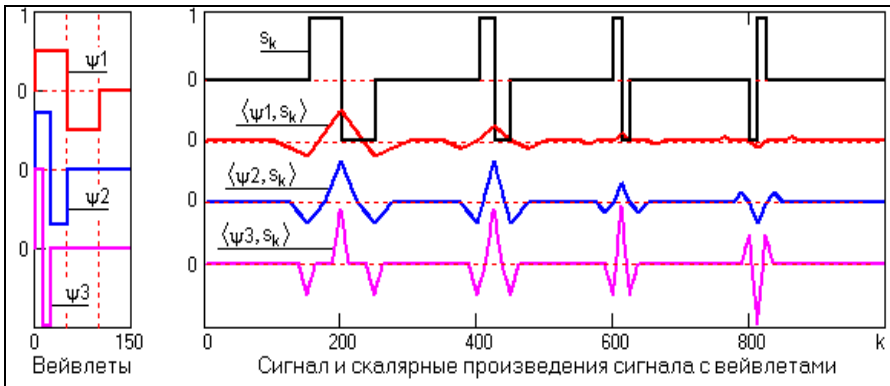


Рис. 1. Скалярні добутки сигналу з вейвлетами

Для обраного початкового значення масштабного коефіцієнта стиску m визначається функція вейвлета (функція $\psi_1(t)$ на рис. 1), і обчислюється

скалярний добуток сигналу з вейвлетом $\langle \psi(t), s(t+k) \rangle$ з аргументом по зрушенню k . Для кращої наочності результати обчислення скалярних добутків побудовані по центрам вейвлетних функцій (тобто по аргументу k від нуля зі зрушенням на половину довжини вейвлетної функції). Як і слід було сподіватися, максимальні значення скалярного добутку відзначаються в сигналі там, де локалізована ця ж вейвлетна функція.

Після побудови першого масштабного рядка розкладання, змінюється масштаб вейвлетної функції ($\psi_2(t)$ на рис. 1) і виконується обчислення другого масштабного рядка спектра, і тому подібне.

Як видно на рис. 1, чим точніше локальна особливість сигналу збігається з відповідною функцією вейвлета, тим ефективніше вирізнення цієї особливості на відповідному масштабному рядку вейвлетного спектра. Неважко бачити також, що для сильно стислого вейвлета Хаара характерною добре вилученою локальною особливістю є стрибок сигналу, причому виділяється не тільки стрибок функції, але й напрямок стрибка [4, 5].

Одна з найбільш актуальних задач цифрової обробки сигналів - задача очищення сигналу від шуму. Будь-який практичний сигнал містить не тільки корисну інформацію, але й сліди деяких сторонніх впливів (перешкоди або шум). Модель такого сигналу можна записати в такий спосіб:

$$s(t) = f(t) + \sigma \cdot e(t), \quad (6)$$

де $f(t)$ – корисний сигнал, $e(t)$ – шум, σ – рівень шуму, $s(t)$ – досліджуваний сигнал. У більшості випадків можна припустити, що функція $e(t)$ описується моделлю білого (гауссовського) шуму, і інформація про перешкоду втримується у високочастотній області спектра сигналу, а корисна інформація – у низькочастотній [5].

Для такої моделі видалення шуму за допомогою вейвлет – перетворення виконується в чотири етапи:

- 1) розкладання сигналу по базису вейвлетів;
- 2) вибір граничного значення шуму для кожного рівня розкладання;
- 3) гранична фільтрація коефіцієнтів деталізації;
- 4) реконструкція сигналу.

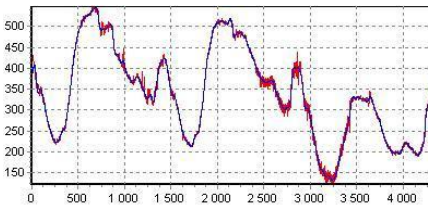
Зі статистичної точки зору така методика являє собою непараметричну оцінку регресійної моделі сигналу з використанням ортогонального базису. Методика щонайкраще працює на досить гладких сигналах, тобто на сигналах, у розкладанні яких лише невелика кількість коефіцієнтів деталізації значно відрізняється від нуля.

Вибір використаного вейвleta та глибини розкладання, у загальному випадку, залежить від властивостей конкретного сигналу. Можна дати лише кілька рекомендацій:

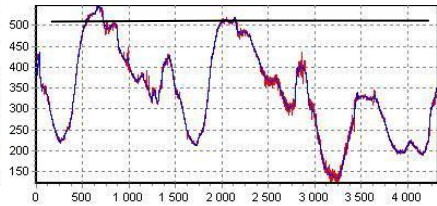
- більш гладкі вейвлети створюють більше гладку апроксимацію сигналу, і навпаки - "короткі" вейвлети краще відслідковують піки апроксимуємої функції;

- глибина розкладання впливає на масштаб деталей, що відсіюються. Інакше кажучи, при збільшенні глибини розкладання модель віднімає шум все більшого рівня, поки не наступить "переукрупнення" масштабу деталей і перетворення почне спотворювати форму вихідного сигналу. Цікаво, що при подальшому збільшенні глибини розкладання перетворення починає формувати згладжену версію вихідного сигналу, тобто відфільтровуються не тільки шум, але й деякі локальні особливості (викиди) вихідного сигналу.

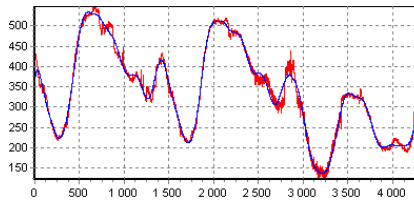
На рис. 2 а), б), в) представлені результати обробки.



а) 7-го порядку



б) 2-го порядку



в) 9-го порядку

Рис. 2. Результат очищення зашумленого сигналу за допомогою Добеши

На рис. 2, а) показаний результат очищення деякого зашумленого сигналу за допомогою гладкого вейвлета (Добеши 7-го порядку, 5 рівнів розкладання), на рис. 2, б) - те ж, але з використанням більш короткого вейвлета (Добеши 2-го порядку, краще відслідковуються піки сигналу), на рис. 2, в) - результат "переукрупнення" сигналу (9 рівнів розкладання, згладжуються локальні особливості сигналу).

При виборі порога шуму (етап 2) використовують, як правило, критерії, мінімізуючи квадратичну функцію втрат для обраної моделі шуму. Існує множина таких критеріїв. Як приклад приведемо вираження для так названого "універсального" критерію, що цілком підходить для моделі

гауссовського шуму з математичним очікуванням 0 та дисперсією 1:

$$\theta = \sqrt{2 \ln(n)}, \quad (7)$$

де n – довжина вибірки,

θ – граничне значення.

Якщо рівень шуму σ (для гауссовського розподілу – це середньоквадратичне відхилення) відрізняється від одиниці, то значення порогу повинне бути масштабоване на таку ж саме величину.

Іншим корисним додатком вейвлет – аналізу є стиск інформації. Принцип роботи алгоритмів арифметичного й статистичного стиску ґрунтується на підвищенні ентропії сигналу, тобто виключенні надлишкової інформації. Інакше кажучи, чим більше повторюваних значень містить сигнал, тим вище ступінь його стиску. Оскільки для гладких сигналів переважна більшість коефіцієнтів деталізації близькі до нуля, а кількість коефіцієнтів апроксимації експоненціально зменшується з підвищенням глибини розкладання, то стиск вейвлет – розкладання сигналу потенційно більш ефективно, ніж стиск вихідного сигналу.

Слід зазначити, що виходячи з вище назначеного, можна зробити наступні висновки:

- вейвлет – аналіз є на сьогоднішній день однією із самих перспективних технологій аналізу даних, його інструменти знаходять застосування у всіляких сферах медицини;
- вейвлетні перетворення мають практично всі переваги перетворень Фур'є;
- вейвлетні бази можуть бути добре локалізованими як по частоті, так і за часом. При виділенні в сигналах добре локалізованих різномасштабних процесів можна розглядати тільки ті масштабні рівні розкладання, які становлять інтерес;
- вейвлетні бази, на відміну від перетворення Фур'є, мають досить багато різноманітних базових функцій, властивості яких орієнтовані на рішення різних задач. Базисні вейвлети можуть мати й кінцеві, і нескінченні носії, реалізовані функціями різної гладкості.
- недоліком вейвлетних перетворень є їхня відносна складність.

Список літератури: 1. *Мурашко В. В., Струтинський А. В.* Электрокардиография. – М.: Медицина. - 1991. – 288с. 2. *Методы исследования сердечно-сосудистой системы.* Под ред. Е. И. Чаусова. М.: Медицина, 1982. 3. *Мащенко Т. Г., Борисенко М. О.* Преимущества использования электродинамической модели миокарда при анализе низкоамплитудных флуктуаций. // Вісник НТУ «ХПІ». Харків. 2010. 4. *Латфуллин І. А.* Вейвлет анализ частотных характеристик ППЖ по грудным отведениям ЭКГ / І. А. Латфуллин, Г. М. Тептин, Л. Э. Мамедова // Тезисы Всероссийского конгресса "Неинвазивная электрокардиология в клинической медицине", Москва, 19-20 квітня 2007 р. 5. *Івашко А. В.* Методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов. Учеб. пособие – Харьков: НТУ «ХПІ» - 2005. – 240с.

Надійшла до редколегії 19.10.2011

Р.П. МИГУЩЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»,
О.Ю. КРОПАЧЕК, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»,
М.М. МАРАХОВСЬКА, магістр НТУ «ХПІ»,
О.Є. ТВЕРИТНИКОВА, канд. істор. наук, доц. НТУ «ХПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ГЕЛІОСИСТЕМИ

У статті розглянуті питання побудови системи управління геліосистемою. Для розробки системи управління вибрано об'єкт дослідження, проведений аналіз його функціонування, проведений огляд і проаналізовані можливі моделі даного об'єкту, вибрані основні напрями роботи при проведенні досліджень.

В статье рассмотрены вопросы построения системы управления гелиосистемой. Для разработки системы управления выбран объект исследования, проведен анализ его функционирования, проведен обзор и проанализированы возможные модели рассматриваемого объекта, выбраны основные направления работы при проведении исследований.

In article questions of construction of a control system гелиосистемой are considered. For management system engineering the object of research is chosen, the analysis of its functioning is carried out, the review is spent and possible models of considered object are analysed, the basic directions of work are chosen at carrying out of researches.

Постановка проблеми. При проведенні енергетичної політики основні зусилля держави Україна спрямовані на збільшення частки виробництва власних енергоресурсів, а також на подальшу диверсифікацію джерел їх імпорту. Україна має в своєму розпорядженні значні ресурси нетрадиційних поновлюваних джерел енергії (сонячна і геотермальна енергія) для отримання тепла. Залучення в енергетичний баланс країни ресурсів геотермальної і сонячної енергії для цілей теплопостачання може забезпечити економію органічного палива у розмірі 3-5%. При сучасному рівні розвитку техніки та існуючій залежності від постачань значних обсягів органічного палива з-за кордону, постає питання проведення інноваційної політики, спрямованої на розвиток і вдосконалення нетрадиційних способів отримання теплової енергії, до яких відносяться технології і установки по перетворенню в теплоту сонячної енергії. Такими установками є геліосистеми.

Аналіз літератури показав, що на даний час вже розроблена достатньо велика кількість геліоустановок, геліосистем, робота яких базується на самих різноманітних алгоритмах [1, 2]. Проте постійне розширення технічних та технологічних вимог призводить до необхідності створення нових, все більш досконалих апаратурних, алгоритмічних та програмних засобів у цій сфері.

Мета статті. Геліосистема є досить складним пристроєм і складається з великої кількості функціональних вузлів і деталей. На нормальне її функціонування впливає велика кількість дестабілізуючих факторів, які часто приводять до негативних результатів – зниження ККД, зниження надійності експлуатації.

платуації, вихід на аварійний режим роботи, погіршення екологічних параметрів тощо. Підтримання геліосистеми у нормальному функціональному стані пов'язано з необхідністю виконання оптимального алгоритму управління, що і є кінцевою метою дослідження.

Для створення такого алгоритму необхідно:

- проаналізувати апіорні відомості про досліджуваний об'єкт, які отримані у ході експлуатації,
- виявити вихідні посилення, які будуть вихідними даними при розробці апаратурно-програмних засобів управління геліосистемою.

Аналіз інформаційної моделі. Функціональна схема, обраної для дослідження, геліосистеми представлена на рис. 1.

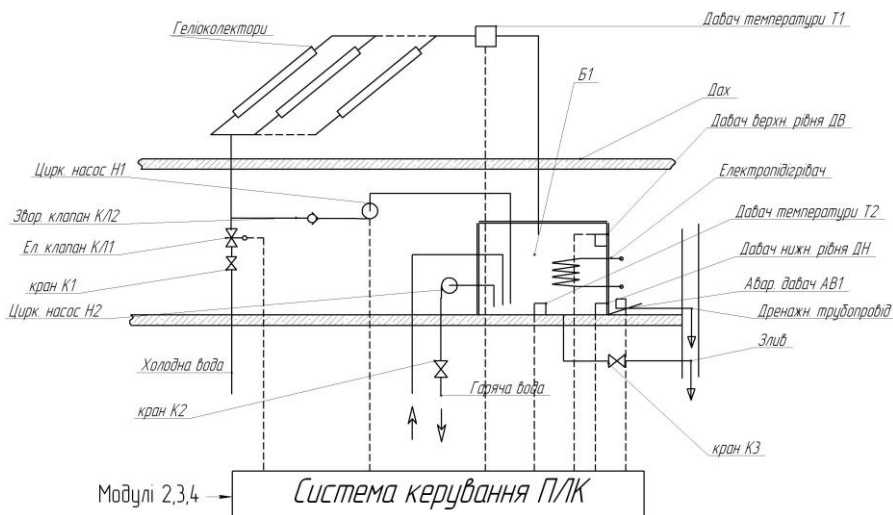


Рис. 1. Функціональна схема геліосистеми

Схема на рис. 1 складається з двох контурів. До складу першого (зовнішнього) контуру входять: геліоколектори, бак води, електроклапан носія першого контуру, циркуляційний насос, теплообмінник, датчик температури носія першого контуру. До складу другого (внутрішнього) контуру входять: електроклапани холодної води (ХВ), гарячої води (ГВ) та зливу, електричний нагрівач води, насос гарячої води, датчики рівня води, датчик температури води у баці, датчик температури води на виході нагрівача, імпульсний блок управління нагрівачем.

Система працює наступним чином. Температурний носій першого контуру нагрівається у геліоколекторі до деякої заданої величини, яка контролюється датчиком температури носія першого контуру. Далі за сигналами від схеми

управління відкривається електроклапан, запускається циркуляційний насос і здійснюється переміщення нагрітого носія температури до теплообмінника. Після чого в геліоколектор поступає холодний носій, закривається електроклапан, відключається циркуляційний насос. Нова порція носія першого контуру готова для підігріву в геліоколекторі.

Нагріта вода в бак теплообмінником за допомогою насоса ГВ через електричний підігрівач виводиться з системи. Для виводу води відкривається електроклапан ГВ, для заміщення ГВ відкривається електроклапан ХВ і холодна вода поступає в нижню частину бака. На відкривання та закривання електроклапанів ГВ та ХВ також впливає інформація від датчиків рівня. Якщо температура води не задовольняє споживача, вона додатково підігрівается електронагрівачем, який управляється імпульсними послідовностями.

На рис. 1 пунктирними лініями показані контролюючі, управлінські та сервісні зв'язки. Очевидно, що ці зв'язки визначають алгоритм функціонування розглядуваної комбінованої системи контролю і управління теплоенергетичними процесами.

Аналіз побудови моделей процесів в геліосистемі. Для побудови грамотної системи вимірювання, контролю, управління необхідно щоб інформаційна система була доповнена відповідною математичною моделлю. В інженерній практиці математичні моделі виконуються у вигляді математичного виразу з використанням перетворення Лапласа [3]

$$F(p) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-px} f(x) dx \quad (\text{для аналогової форми})$$

та дискретного перетворення Лапласа [4] $D\{x_d(t)\} = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT)e^{-pnT}$

або z-перетворення $Z\{x_d(t)\} = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT)z^{-n}$ (для цифрової форми).

При цьому практично неможливо синтезувати математичну модель об'єкту, яка відображає функціонування установки у всіх без виключення режимах роботи. Тому, в практиці, стараються побудувати математичні моделі процесів, що відображають поведінку установки у певному вибраному режимі роботи або у вибраній частині установки.

Типова схема управління комбінованої системи управління технічним об'єктом подана на рис. 2. Для даної схеми математична модель (передавальна функція) відносно впливу збурювання має вигляд:

$$W_f = \frac{W_k W_p W_{oy} + W_{ov}}{1 + W_{oc} W_p W_{oy}},$$

де W_{oy} , $W_{ов}$ – передавальні функції об'єкту управління, W_p – передавальна функція регулятора, W_k – передавальна функція компенсатора, W_{oc} – передавальна функція кола зворотнього зв'язку.

$$\text{Передавальна функція відносно уставки: } W_g = \frac{W_p W_{oy}}{1 + W_{oc} W_p W_{oy}}.$$

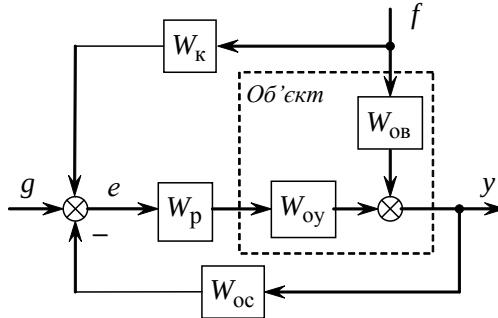


Рис. 2. Структурна схема комбінованої системи регулювання

Структура схеми (див. рис. 2) може дещо доповнюватись іншими контурами, проте база лишається незмінною. А от структура та параметри передавальних функцій залежать тільки від властивостей об'єкту та обраного принципу управління і можуть являти собою різноманітні типові ланки. До таких відносяться: інерційні, диференційні, коливальні, з запізнюванням тощо. Знаходження параметрів ланок може здійснюватись або теоретичним шляхом [5], або шляхом ідентифікації. При цьому, в будь-якому випадку, необхідно здійснювати верифікацію отриманих результатів по реальним спостереженням за роботою об'єкту та системи управління.

Імітаційне моделювання. Сильним інструментом в проведенні верифікації отриманих теоретичних даних є імітаційне моделювання. Сучасні програмні засоби дозволяють промодельовати практично любі процеси в технічних об'єктах. Таке моделювання може здійснювати визначення параметрів передаточних функцій, коректувати структуру передаточних функцій об'єкту дослідження, обирати оптимальні регулятори (ПІ, ПІД тощо) та їх структуру.

Для проведення імітаційного моделювання функціонування комбінованих систем управління доцільно використовувати інтегровані середовища математичних та інженерних розрахунків MathCAD 2001 (MathSoft Inc.) і Matlab 6 (MathWorks Inc.), а також середовища імітаційного моделювання Simulink 4 і пакет прикладних програм Control Systems Toolbox.

Для реалізації задачі моделювання, в середовищі імітаційного моделювання, на основі структурних схем об'єкту управління, складається відповідна імітаційна модель і запускається безпосередньо моделювання. Приклад такого моделювання зображений на рис. 3.

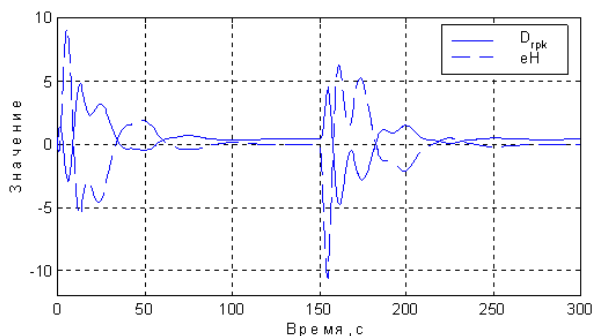


Рис. 3. Імітаційне моделювання процесів у технічному об'єкті

Висновки. У даній статті детально розглянута інформаційна модель геліосистеми, встановлені підходи до побудови структурних та математичних моделей геліосистеми, винайдені програмні продукти та принципи дослідження алгоритмів управління геліосистемою шляхом проведення імітаційного моделювання.

Перспективи подальших досліджень. На погляд авторів для подальших досліджень необхідно поставити і вирішити ряд основних задач. Такими є:

- побудова моделей процесів у геліосистемі,
- моделювання реакції основних вузлів геліосистеми на технологічний процес розігріву теплоносія,
- аналіз похибки вимірювальних каналів температури, електричного струму, рівня носія,
- синтез алгоритмів контролю і управління досліджуваної апаратури,
- розробка апаратурних пристроїв.

Вирішення всіх задач повинно бути підпорядковано критеріям простоти, дешевизни, надійності тощо, що погоджується з сучасними вимогами у промисловості.

Список літератури: 1. Дж.А.Даффи. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Дж.А.Даффи, У. А. Бекман. – М. : Мир, 1977. – 412 с. 2. Авезов Р. Р. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения / Р. Р. Авезов, А. Ю Орлов.. Ташкент : Фан, 1988. 3. Теория автоматического управления. / Под ред. Нетушила. -М.: Высшая школа, 1976. – 400 с. 4. Изерман Р. Цифровые системы управления : Пер. с англ. - М. : Мир, 1984. – 541 с. 5. Федоткин И. М. Математическое моделирование технологических процессов. - К. : Вища школа, 1988. – 415 с.

Поступила в редколлегию 8.10.2011

М.В. ОВСЕЕНКО, магистр НТУ «ХПИ»,
В.Н. БАЛЕВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОРИЗАЦИИ ПО ГОЛОСУ И ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ЕЁ РАБОТЫ

У статті розглянуті методи аутентифікації, зокрема біометричні, серед яких найбільша увага надається авторизації за голосом. Також у статті наведено опис дослідницької роботи та структури приладу.

В статье рассмотрены методы аутентификации, в частности биоматематические, среди которых наибольшее внимание предоставляется авторизации за голосом. Также в статье приведено описание исследовательской работы и структуры прибора.

The article deals with methods of authentication, including biometrics, among which the most attention is given authorization vote. This article also describes the research and structure of the device.

Перед любым предприятием в современном мире остро стоит проблема защиты от несанкционированного доступа к своим материальным (помещения, здания) и виртуальным (файлы, базы данных) ресурсам. Для ее решения применяются различные системы разграничения доступа. Важным элементом такой системы разграничения доступа является способ авторизации (подтверждения подлинности личности) пользователя. Самым простым в реализации способом подтверждения прав доступа к материальному ресурсу или объекту является использование механического замка с ключом, а к виртуальному — пароля доступа. Однако существуют и другие, более современные и надежные, методы подтверждения прав доступа.

Виды авторизации

1. Однофакторная авторизация

При однофакторной авторизации для получения прав доступа к какому-либо ресурсу достаточно предоставить системе одно (любое утвержденное) подтверждение своих прав. Все используемые в этом случае методы авторизации можно разделить на три вида:

1.1 Знания человека. Доступ к ресурсу предоставляется на основании информации, известной человеку. Например, для доступа к компьютерной системе может использоваться имя пользователя (login) и парольная фраза. Вариантом этого метода служит система с однократными паролями (one time passwords), когда человек знает не сам пароль, а алгоритм его получения по данным, предоставленным системой.

1.2 Объекты владения. У пользователя, желающего получить доступ к системе, есть некий материальный объект: брелок с записанным в него электронным ключом, бумажный пропуск со штрих-кодом, ключ для механического замка и т.п.

1.3 Неотъемлемые свойства личности. Антропометрические характеристики человека, используемые для его идентификации. Наиболее известные примеры: отпечатки пальцев, отпечаток ладони, рисунок на сетчатке глаза, речевые признаки, элементы лица.

2. Многофакторная авторизация

Основным недостатком всех видов однофакторной авторизации, за исключением биометрической, является то, что элемент, на основании которого предоставляется доступ, может быть добровольно или насильственно передан другому лицу. Пароль можно случайно («записал на бумажке и потерял») или специально передать злоумышленнику, электронный или бумажный пропуск можно «одолжить» другому человеку, либо его могут отнять. Более того, не все биометрические признаки действительно являются «неотъемлемой частью человека». Если важность ресурса, к которому необходим несанкционированный доступ, очень велика, злоумышленники могут получить. Следовательно, для повышения надежности ограничения доступа рекомендуется использовать многоступенчатую систему авторизации, построенную на комбинации двух или более способов. Это может быть комбинация: пароль и отпечаток пальца, либо пароль и карта доступа.

Особенности использования речи для авторизации доступа

Главным преимуществом речи в системах биометрической верификации является то, что, в отличие от постоянных признаков человека, которые он не может произвольно менять, он может по своему усмотрению управлять тем, что он говорит. То есть, решение о допуске может приниматься не только на основании уникальных для каждого человека признаков голоса, но и на основании анализа произнесенной парольной фразы, интонации речи. Например, возможна такая, достаточно простая, схема: для каждого дня недели записывается свой речевой пароль. При этом:

- Идентификация пользователя по голосу является текстозависимой (даже без перевода речи в текст);
- Обеспечивается сразу два вида авторизации: человек знает необходимое слово и несет в себе необходимые для авторизации характеристики.

Другим неоспоримым достоинством использования речи в качестве биометрического признака является возможность верификации личности по признаку ее эмоционального состояния. Допустим, если человека заставляют произнести парольную фразу «под дулом пистолета», его голос, помимо воли (либо сознательно) изменяется. Этот факт можно использовать как основание для отказа в доступе на охраняемый объект, так и для определения того, что парольная фраза говорится под принуждением. Можно возразить, что это преимущество будет одновременно и недостатком системы биометрической верификации на основе речи, поскольку потенциально приводит к относительно высокому проценту «отказа своему». Однако, этот недостаток достаточно легко преодолевается с помощью самотренировки человека, и использования адаптивных алгоритмов верификации, которые отслеживают не-

большие изменения в характеристиках голоса. В разряд достоинств голосовой биометрической верификации можно смело отнести минимальные затраты на ее эксплуатацию. Системы с ее использованием не требуют установки сложного дорогостоящего оборудования, такого как считыватели отпечатков пальцев или радужной оболочки.

Еще одним недостатком верификации с помощью речи многие считают возможность использования аудиозаписей для получения несанкционированного доступа. Однако не нужно забывать, что биометрические признаки, используемые для верификации, в значительной степени зависят от особенностей речевого аппарата конкретного человека и искажаются при использовании технических средств, как на этапе записи, так и на этапе воспроизведения. Использование записи также не принесет «положительного» результата, в случае правильного подбора зависимости парольных фраз от внешних условий.

Например, можно построить систему авторизации таким образом, чтобы пользователь произносил название дня недели и цвета, изображенного на экране. Цвет отображается генератором случайных чисел из трех возможных, что дает 21 парольную фразу. В такой ситуации злоумышленник должен не только записать аудиосигнал нужного лица, но и знать алгоритм его использования. Такой подход позволяет создать бесконечное множество подобных легкозапоминаемых схем верификации [1].

Перед нами была поставлена задача разработки системы авторизации по голосу. После анализа существующих средств общая задача была разделена на две части: разработка макета аппаратной части системы авторизации по голосу и исследования алгоритмов авторизации. Первая часть задачи решалась путём определения требований к аппаратной части и выбора технических средств для ее реализации. В процессе рассмотрения разнообразных технических средств наш выбор остановился на относительно простом сигнальном процессоре dsPIC фирмы Microchip. Сигнальный процессор dsPIC имеет небольшое количество команд, что снижает порог вхождения в его программирование, а также обеспечивает необходимую скорость оцифровки сигнала (200 тысяч измерений в секунду)[2]. Основная задача аппаратной части это быстрая оцифровка звукового сигнала и передача этой последовательности персональному компьютеру. Среди дополнительных задач будет усиление сигнала, полосовая фильтрация, так как человеческий голос имеет ограниченную полосу частот (от 300 Гц до 4000 Гц) [3] и лишние гармоники будут мешать анализу. Основная часть задачи авторизации будет решаться в персональном компьютере, а аппаратная часть в дальнейшем выступит в качестве инструмента для изучения алгоритмов авторизации и будет выполнена в виде макета.

Вторая часть задачи решалась путем выбора программных средств, алгоритмов авторизации и способов их реализации с помощью выбранных программных средств. После рассмотрения различных программных средств

наш выбор остановился на среде программирования LabVIEW фирмы National Instruments которая объединяет простоту графического программирования с гибкостью мощного языка программирования. Использование среды LabVIEW позволяет упростить написание программного кода, так как использует специфичный язык графического программирования G, который можно освоить, не будучи программистом, но в то же время является полноценным компилятором и позволяет создавать исполняемые файлы (.exe).

Структурная схема системы авторизации представлена на рисунке.

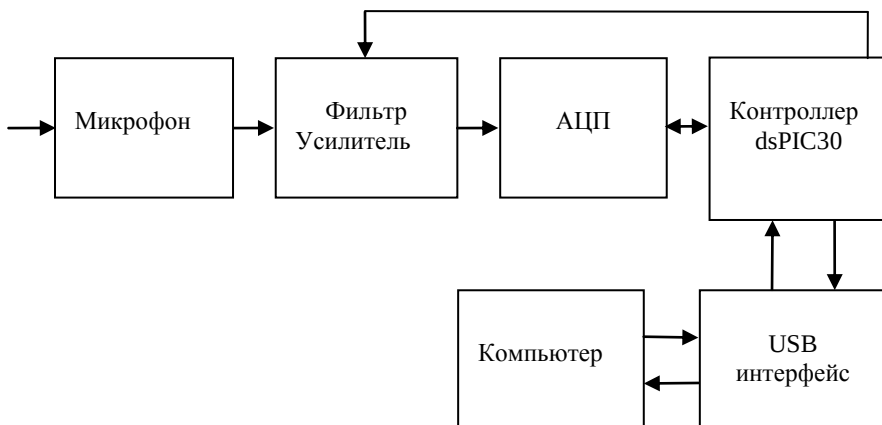


Рис. Структура системы авторизации

Виртуальная (программная) часть системы авторизации, расположенная в персональном компьютере, взаимодействует с аппаратной частью через высокоскоростной интерфейс. Разделение аппаратной и программной частей на два модуля позволяет вносить произвольные изменения в программную часть (модернизация и модификация) без изменения в аппаратной части, что позволяет быстро и эффективно менять характеристики системы авторизации, алгоритмы, применяемые в процессе работы системы.

Список литературы: 1. Перспективы использования речи для авторизации пользователей в системах разграничения доступа. Материал с сайта компании «Речевые технологии» 2. dsPIC30F Family Overview Microchip Technology Inc. 2005. – 24 с. 3. Фролов Г. В. Синтез и распознавание речи. Современные решения / Г. В. Фролов, С. М. Фролов. – 2008.

Поступила в редколлегию 06.10.11

О. В. ПОЛЯРУС, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри ХНАДУ,
Є. О. ПОЛЯКОВ, аспірант ХНАДУ, Харків

МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ДАТЧИКА

В статті представлений новий метод підвищення достовірності даних вимірювань. Розглядається проблема відновлення сигналу на вході датчика з одночасною ідентифікацією датчика. Проведено математичне моделювання з використанням генетичного алгоритму, який мінімізує розроблений функціонал.

В статье представлен новый метод повышения достоверности данных измерений. Рассматривается проблема возобновления сигнала на входе датчика с одновременной идентификацией датчика. Проведено математическое моделирование с использованием генетического алгоритма, который минимизирует разработанный функционал.

This article presents a new method for improving the reliability of data measurements. In the paper the problem of the unknown input signal evaluation and the estimation of sensor characteristics is solved by using a genetic algorithm.

Постановка задачі. Для побудови якісної інформаційно-вимірювальної системи необхідною вимогою є отримання достовірної інформації з об'єкта, характеристики якого вимірюються. Для первинного перетворення вимірювальної інформації, як правило, використовують датчики різного типу. Багато датчиків є інерційними, що призводить до спотворення сигналів на їх виході. Наприклад, нестационарний сигнал на вході датчика може перетворюватись на стаціонарний на його виході і навпаки. Отже, створюються умови для прийняття невірної рішення на підставі результатів випробувань і з'являється сумнів щодо точності отриманої інформації. Таким чином, виникає завдання оцінки реального сигналу, що надходить на вхід вимірювального каналу, ми повинні мати уявлення про характеристики датчика.

Аналіз літератури. Подібна проблема відноситься до обернених задач [1-3]. В публікації [4] розглянуто різні способи опису сигналів і характеристики оптимальних систем їх обробки. Способи застосування генетичних алгоритмів для розв'язання інженерних задач – в [5]. В публікації [6] викладено питання теорії випадкових функцій.

Мета роботи – розробка методу відновлення сигналу на вході датчика за допомогою генетичного алгоритму. **Задача:** побудова моделі системи відновлення сигналу на вході датчика на основі генетичного алгоритму.

Рішення задачі. Спочатку будемо вважати, що сигнал на виході первинного перетворювача точно відомий, а імпульсна або передатна характеристика датчика невідома. При такій постановці, оцінити вхідний сигнал неможливо. Таким чином, виникає необхідність використання апріорної інфор-

мації про деякі характеристики датчика. Зокрема, ми вважаємо, що форма імпульсного відгуку може бути записана як функція загального вигляду, наприклад,

$$h(t) = \frac{2}{\Gamma(m)} \left(\frac{m}{l} \right)^m t^{2m-1} \exp \left(-\frac{mt^2}{l} \right), \quad t > 0, \quad l > 0, \quad m \geq 0.5, \quad (1)$$

де m, l - невідомі параметри, які характеризують форму імпульсного відгуку.

Випадковий вхідний сигнал може бути розкладений в ряд Карунена - Лоева [4]. Реалізація вхідного сигналу в n -мірному представленні:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n a_i \psi_i(t). \quad (2)$$

У виразі (2) випадкові коефіцієнти a_i цього ряду невідомі, а функції $\psi_i(t)$ є ортонормованими базисними і вибираються дослідником. Реалізація вихідного сигналу лінійного перетворювача визначається рівнянням згортки

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t - \tau) d\tau + n(t), \quad (3)$$

де $h(t)$ - імпульсна характеристика датчика, і $n(t)$ - адитивний випадковий процес (шум), який ми приймаємо як білий гаусівський шум.

Беручи до уваги (1) і (2), вираз (3) можна записати наступним чином

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \sum_{i=1}^n a_i \psi_i(t - \tau) d\tau + n(t). \quad (4)$$

У виразі (4) нам відомий вихідний сигнал $y(t)$ і функції $\psi_i(t)$. Цей вираз включає $n+2$ невідомих параметрів, серед них коефіцієнти a_i є випадковими. Скорочення їх числа можливо у випадку, коли форма вхідного сигналу $x(t)$ проста.

У математичній постановці задачі оцінки невідомих коефіцієнтів a_i зведемо до проблеми мінімізації функціонала

$$J(a_1, \dots, a_n, \dots) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[y(t) - \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \sum_{i=1}^n a_i \psi_i(t - \tau) d\tau - n(t) \right]^2 dt \quad (5)$$

для кожної реалізації вхідного сигналу і шуму. Реалізація сигналу і шуму моделюється на комп'ютері. Вираз (5) містить різницю між відомим вихідним

сигналом і його апроксимацією представленою сумою.

Функціонал (5) містить $n+2$ невідомих параметрів: n коефіцієнтів ряду (2) і коефіцієнти (m,l) функції (1). Отже, треба мінімізувати функцію багатьох параметрів. Досвід показує, що такі задачі найкраще розв'язуються за допомогою глобальних методів випадкового пошуку, наприклад, генетичних алгоритмів [5] у випадках, коли відсутні вимоги щодо отримання результатів в реальному масштабі часу. За допомогою цього алгоритму нами були отримані всі необхідні коефіцієнти, тобто фактично розв'язана задача ідентифікації датчика (оцінка імпульсної характеристики датчика), а також завдання "сліпої" обробки сигналів, тобто оцінки сигналу на вході перетворювача. Визначимо достовірність запропонованого методу. З цією метою будемо використовувати математичну модель датчика (1) і приклад реалізації вхідного сигналу (рис.1), який можна розглядати як стандартний для цього завдання.

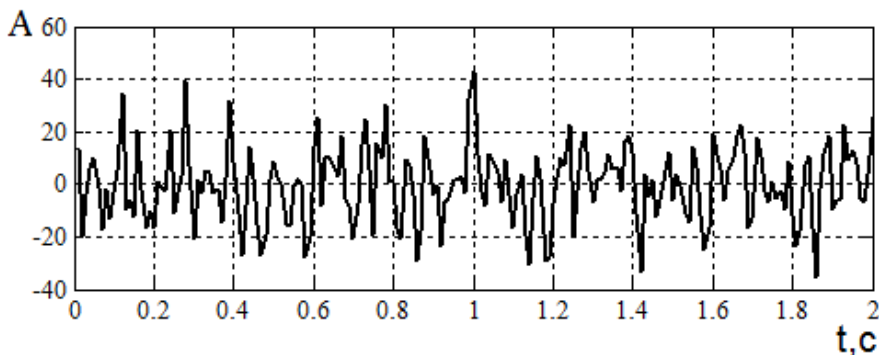


Рис. 1. Приклад вхідного сигналу

Як ортонормовані функції, ми вибираємо тригонометричні за аналогією з узагальненим рядом Фур'є. В заданій моделі вхідного сигналу вони є відомими. Сигнал $y(t)$ обчислюється за допомогою рівняння згортки.

Інтегральною характеристикою достовірності отриманих результатів будемо вважати кут між модельним і перерахованим сигналом $x_r(t)$ [6].

$$\varphi = \arccos \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x(t)x_r(t)dt}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)dt} \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x_r^2(t)dt}}. \quad (6)$$

Після знаходження глобального мінімуму (5) визначаємо коефіцієнти ряду Карунена-Лоева і параметри імпульсної характеристики (1), а потім ре-

алізацію вхідного сигналу. Отже, можна визначити кут між заданим і перерахованим сигналами.

Точність розрахунку сигналу генетичним алгоритмом залежить від багатьох факторів, наприклад, кількості коефіцієнтів, відношення сигнал-шум і параметрів генетичного алгоритму.

На рисунку 2 приведена залежність кута від співвідношення сигнал-шум при різних кількостях коефіцієнтів ряду. Кут між реальним вхідним сигналом і розрахованим характеризує точність відновлення сигналу на вході датчика. Якщо цей кут дорівнює 0° , то точність є абсолютною, якщо 90° – то модельний та перерахований сигнали є ортогональними. Для оцінки точності відновлення сигналу розраховувався також коефіцієнт кореляції між зазначеними сигналами.

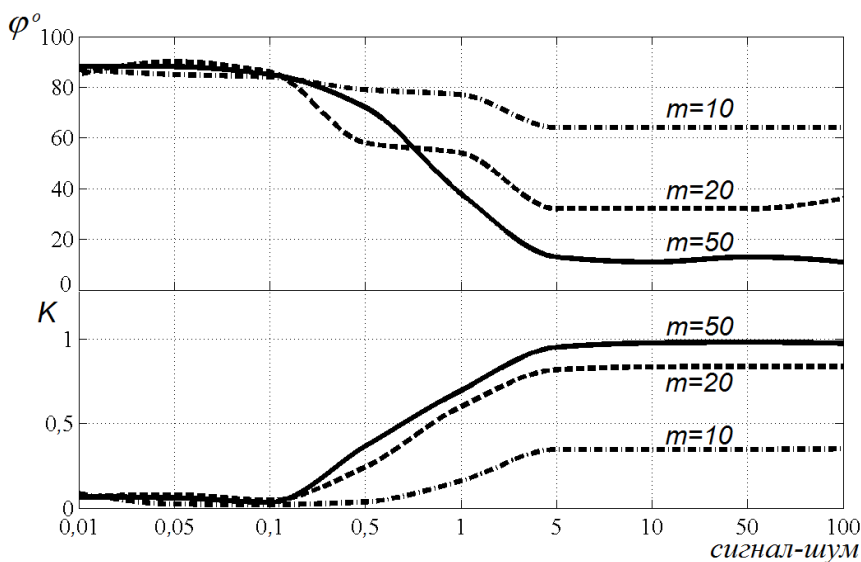


Рис. 2. Залежність кута φ і коефіцієнта кореляції K між реалізаціями вхідного і перерахованого сигналів від співвідношення сигнал-шум

Після досягнення певного числа коефіцієнтів ряду (2) збільшення точності розрахунку не відбувається. З одного боку, збільшення кількості коефіцієнтів підвищує точність представлення вхідного сигналу, а з іншого боку виникають проблеми знаходження глобального, (а не якогось локального) екстремуму, а це знижує точність відновлення сигналу.

При співвідношенні сигнал-шум, що дорівнює п'яти, розрахунок має високу точність. Якщо кількість коефіцієнтів перевищує 50 – коефіцієнт кореляції

ляції наближається до 1, а кут – приблизно до 10 градусів, що вказує на високу точність відновлення сигналу.

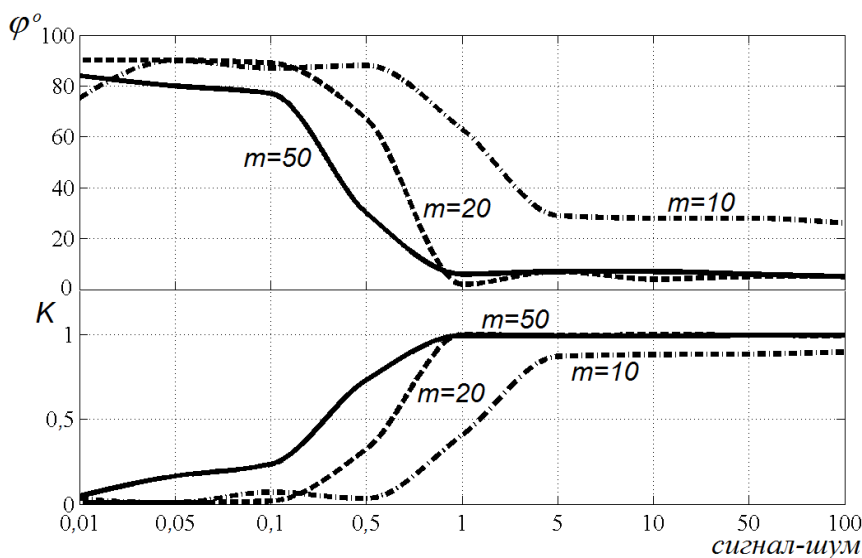


Рис. 3. Залежність кута φ і коефіцієнта кореляції K між відомою і перерахованою імпульсною характеристикою датчика від співвідношення сигнал-шум

Знайдені невідомі параметри m, l характеризують форму імпульсного відгуку (1). Порівнюючи отриману імпульсну характеристику з заданою, можна оцінити точність її відновлення. Оскільки коефіцієнти, що описують випадковий процес на вході датчика, і коефіцієнти імпульсної характеристики входять до складу функціонала (5), то кількість коефіцієнтів випадкового процесу може чинити значний вплив на точність відновлення імпульсної характеристики.

Рисунок 3 характеризує точність розрахунку імпульсної характеристики датчика в залежності від співвідношення сигнал-шум.

Звернемо увагу на те, що точність розрахунку імпульсної характеристики датчика в цілому вища, ніж точність реконструкції вхідного сигналу. Прийемо, що при значеннях коефіцієнта кореляції, які не перевищують 0,8, ми не будемо довіряти результатам обчислень. При зазначених умовах, як показують розрахунки, достатньо буде 10 коефіцієнтів. Це спричинено наявністю апіорної інформації про форму імпульсної характеристики.

Час розрахунку імпульсної характеристики датчика та реалізації вхідного сигналу залежить від багатьох факторів. Вони включають в себе склад-

ність вхідного сигналу і форми імпульсної характеристики, а також апріорну інформацію про них. Збільшення числа коефіцієнтів призводить до збільшення часу обчислень, наприклад, так як показано на рисунку 4 (обчислення проводились на комп'ютері з двоядерним процесором тактовою частотою 2 Hz і об'ємом оперативної пам'яті 2 Гб).

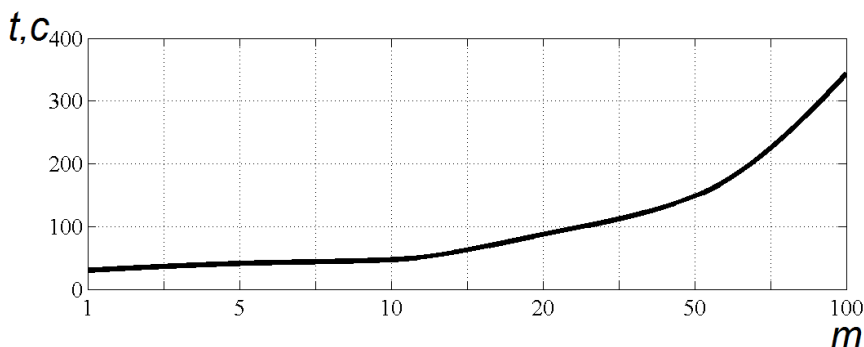


Рис. 4. Залежність часу розрахунку глобального екстремуму функціонала (5) від числа випадкових коефіцієнтів

Висновок. Результати моделювання показують високий рівень точності реконструкції вхідного сигналу і імпульсної характеристики датчика. Однак, це займає деякий час через особливості стохастичного пошуку екстремуму в генетичних алгоритмах. Це ускладнює застосування методу для динамічних об'єктів. Для підвищення точності розрахунків ми повинні мати апріорну інформацію про вид імпульсної характеристики датчика.

Список літератури: 1. Чинков, В.Н. Оптимальный метод дискретизации сигналов по минимуму погрешности восстановления [Текст] / Український метрологічний журнал. – 2010. -№1. – С. 22-30. 2. Горячкин, О.В. Методы слепой обработки сигналов и их применение в системах электро-связи [Текст] / О.В. Горячкин. - // Электросвязь. - 2006. - N 7. - С. 22-24. 3. Abed-Meraim, K. Blind System Identification [Текст] / K. Abed-Meraim, W. Hua, Y. Liu // IEEE Proceeding. - 1997. - vol.85. – P.1308-1322. 4. Френкс Л. Теория сигналов. М.: Сов. радио, 1974. – 344с. 5. Mitsuo Gen, Runwei Cheng. Genetic algorithms and engineering optimization- New York: A Wiley-Interscience Publication, 2000. – 495 p. 6. И.И. Гихман, А.В. Скороход, Введение в теорию случайных процессов.- М.: Наука, 1965.

Стаття представлена д.т.н. проф. НТУ ХПІ Щаповим П.Ф.

Надійшла в редакцію 10.09.11

О.Л. РЕЗИНКИН, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»,
В.И. РЕВУЦКИЙ, преподаватель – стажер, НТУ «ХПИ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА МОЛНИЕСТОЙКОСТЬ В ВЫСОВОЛЬТНОМ ЗАЛЕ НТУ “ХПИ”

Запропоновані технічні заходи щодо модернізації устаткування великого високовольтного залу НТУ „ХПІ” з метою забезпечення проведення досліджень у галузі розробки нових засобів молнієзахисту та випробувань технічних об’єктів на молнієстійкість у відповідності до сучасної нормативно-технічної бази.

Предложены технические мероприятия по модернизации оборудования большого высоковольтного зала НТУ „ХПИ” с целью обеспечения проведения исследований в отрасли разработки новых средств молниезащиты и испытаний технических объектов на молниестойкость в соответствии с современной нормативно технической базы.

Upgrading of high voltage laboratory of NTU “KhPI” is proposed. The purpose of this upgrading is providing of investigations in the field of new lightning protection systems and high voltage testing of vulnerable technical objects on lightning stroke stability according to modern standards.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании молниеприемников, разработке систем экранирования, ограничителей перенапряжений, фильтров электрических помех и других средств защиты технических объектов от воздействия даров молнии, необходимо проведение высоковольтных испытаний оборудования на молниестойкость. Методологическое обеспечение высоковольтных испытаний оговаривается в ряде национальных и международных стандартов (ДСТУ, ГОСТ, ИЕС, IEEE), разработка и совершенствование которых продолжается в течение многих десятилетий по мере развития средств молниезащиты, а также возникновения новых объектов, подлежащих защите. Изменение нормативной базы приводит к необходимости постоянной модернизации оборудования высоковольтных лабораторий.

Одной из актуальных задач в области молниезащиты является испытание элементов лопастей турбин ветрогенераторов на воздействие прямого удара молнии. Актуальность этой задачи связана с тем, что в настоящее время ветроэнергетические установки являются весьма востребованными источниками возобновляемой энергии, а стоимость ремонта в случае попадания в них молнии очень высока. Проведение испытание лопастей турбин необходимо для выявления слабых мест в системе молниеприемников и токопроводов, обеспечивающих стекание тока молнии в заземлитель. Анализ результатов высоковольтных испытаний элементов лопастей турбин позволяет принимать научно обоснованные решения по совершенствованию старых и проектированию новых конструкций.

Другой актуальной задачей является испытание эффективности так называемых активных молниеотводов, разработкой которых занимается ряд зарубежных фирм. В основе принципа действия активных молниеотводов лежит расширение зоны ориентировки лидера молниевых канала на последнем этапе его приближения к земле (last stroke) путем инициирования от него восходящего лидерного канала. В настоящее время в Украине отсутствуют национальные стандарты, регламентирующие испытания данного защитного оборудования. Это связано с тем, что активные молниеотводы находятся на стадии разработки, а эффективность их использования пока в полной мере экспериментально не доказана. Тем не менее, ряд коммерческих фирм уже предлагают образцы разработанных ими активных молниеотводов потребителям и в некоторых странах (например, во Франции и Испании) приняты стандарты для их сертификации. Ряд зарубежных фирм в настоящее время уже проявляли свою заинтересованность в проведении НТУ "ХПИ" испытаний активных молниеотводов по упомянутым выше стандартам.

Обеспечение испытаний новых технических объектов и новых средств молниезащиты, приведение средств измерения параметров мощных импульсов высокого напряжения, тока, напряженностей электрического и магнитного полей в соответствие с современным уровнем развития информационно-измерительной техники делают необходимым проведение работ по модернизации оборудования высоковольтного зала НТУ "ХПИ".

1. ВОЗМОЖНОСТИ ИМЕЮЩЕГОСЯ ОБОРУДОВАНИЯ

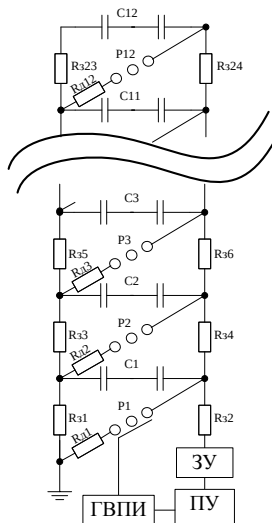
Основным высоковольтным оборудованием, применяющимся при испытаниях на молниестойкость, являются генераторы импульсных напряжений (ГИН). В настоящее время в высоковольтном зале имеется ГИН этажерочной компоновки, представляющий собой классическую многоступенчатую схему Аркадьева-Маркса [1], реализованную в виде 12 ступеней, каждая из которых собрана из двух последовательно включенных импульсных конденсаторов емкостью 0,17 мкФ.

При работе схемы Аркадьева-Маркса ступени ГИН сначала параллельно заряжаются от источника постоянного высокого напряжения, а затем, в результате срабатывания коммутаторов (в данном случае многозачерных воздушных искровых разрядников – политронов), переключаются последовательно и подключаются к нагрузке. В качестве нагрузки при проведении испытаний на устойчивость к прямым ударам молний выступает искровой промежутки, образованный высоковольтным электродом ГИН и объектом испытания, и, собственно, сам объект испытания.

Учитывая современное техническое состояние имеющихся высоковольтных импульсных конденсаторов, целесообразно их использование при уровне зарядного напряжения этажей ГИН до 100 кВ. Это позволяет проводить испытания при амплитуде испытательных импульсов до



а)



б)

Рис. 1. Внешний вид (а) и электрическая схема (б) ГИН.

1.2 МВ. Эквивалентная емкость ГИН в процессе его разряда (так называемая емкость ГИН в ударе) составляет при этом $C_{уд} = 7.1$ нФ, а запасаемая энергия $W_{зап} = 850$ Дж.

Зарядное устройство ГИН состоит из регулятора напряжения (лабораторного автотрансформатора), высоковольтного трансформатора ИОМ 100/25 и однополупериодной схемы выпрямления. Для контроля зарядного напряжения предусмотрен омический делитель напряжения и подключенный к его низковольтному плечу измерительный прибор. Пульт управления установки содержит схемы блокировки и сигнализации, выполненные на электромеханической аппаратуре.

Высоковольтное измерительное оборудование зала состоит из измерительных шаров диаметром 1.5 м, позволяющих проводить измерение амплитуды выходного импульсного напряжения ГИН в соответствии с ГОСТ 17512—82. Импульсного измерительного делителя напряжения, позволяющего регистрировать форму импульсов ГИН при полном зарядном напряжении, в настоящее время в высоковольтном зале не имеется.

Для проверки функционирования ГИН была проведена регистрация его выходного напряжения при неполной зарядке. На рис. 2 представлены осциллограммы напряжения на семи ступенях ГИН при их заряде до напряжения 50 кВ. Разряд ГИН проводился на омическую нагрузку $R_n = 5$ кОм. Измерения выполнялись при помощи портативного высоковольтного емкостного делителя напряжения, максимальная амплитуда регистрируемого импуль-

са которого составляет 500 кВ. Делитель снабжен оптронной развязкой высоковольтной и низковольтной регистрирующих частей, связь между которыми выполнена по световоду длиной 30 м. Регистрация выходных импульсов делителя напряжения проводилась цифровым двухканальным осциллографом Tektronix TDS 1012, запитанным от автономного источника питания и размещенном в помещении, отделенном от высоковольтного зала железобетонной стеной. Тестирование данной измерительной системы показало, что уровень синфазной импульсной электромагнитной помехи на входе осциллографа ниже полезного сигнала не менее чем на 80 дБ.

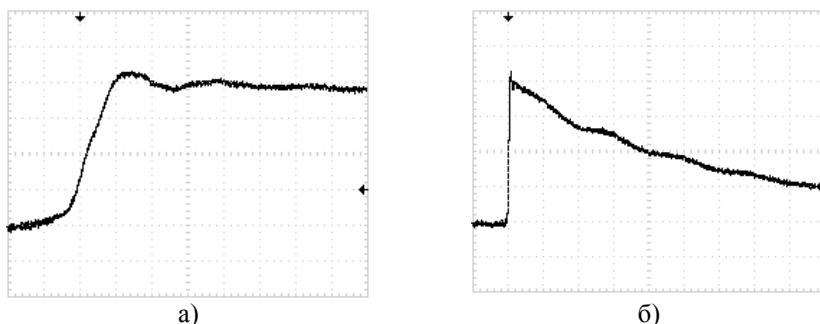


Рис. 2. Осциллограммы напряжения ГИН при неполной зарядке.
а) фронт (250 нс/дел; 80 кВ/дел); б) спад (5 мкс/дел; 80 кВ/дел)

Повторная регистрация выходного напряжения ГИН показала отличную повторяемость генерируемых им высоковольтных импульсов, что свидетельствует о надежной работе многоазорных искровых коммутаторов и системе запуска схемы. Анализ формы напряжения на седьмой ступени ГИН показал, что при использовании полной схемы и соответствующей формирующей фронтowej емкости на его выходе может быть получен стандартный грозовой импульс напряжения, соответствующий МЭК 62305-1, ГОСТ Р 51992-2002.

2. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ

Для проведения испытаний современных технических объектов (например, элементов ветротурбин, нефте- и газоперекачивающих станций, авиационной техники) и новых средств молниезащиты – активных молниеотводов, рассеивателей заряда (Charge Dissipation Terminal), а также для обеспечения возможности проведения научно-исследовательской работы по физике молнии, в высоковольтном зале НТУ "ХПИ" следует провести комплекс работ, включающих модернизацию имеющегося и разработку нового лабораторного оборудования. В соответствии с рядом международных и национальных стандартов (например [2, 3]) испытания должны проводиться при монотонном нарастании испытательного напряжения на исследуемых образцах в течение нескольких сотен микросекунд. В соответствии с требованиями дан-

ных стандартов длина искровых промежутков, отделяющих объект испытания от высоковольтных электродов системы полеобразования, должна составлять более одного метра, что соответствует уровню испытательного напряжения более одного миллиона вольт.

При разработке плана модернизации оборудования зала проведено компьютерное моделирование работы испытательного стенда, состоящего из ГИН, формирующего устройства, нагрузки и измерительного импульсного делителя напряжения, подключенного параллельно нагрузке. На рис. 3 представлена модель испытательного стенда, выполненная при помощи системы схемотехнического моделирования Micro-Cap.

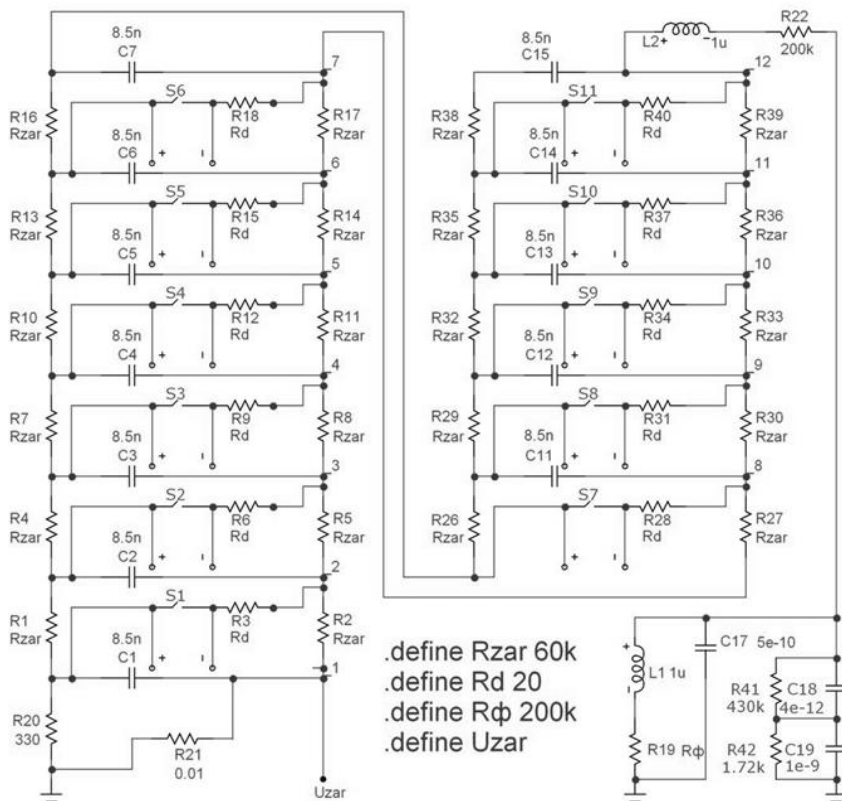


Рис. 3. Компьютерная модель схемы испытательного стенда после модернизации

В состав формирующего устройства входит резистор $R_{\phi} = 200 \text{ кОм}$ и конденсатор $C_{\phi} = 500 \text{ пФ}$. Эквивалентные входные сопротивление и емкость измерительного делителя составляют соответственно $R_{\text{д}} = 430 \text{ кОм}$ и конденсатор $C_{\text{д}} = 4 \text{ пФ}$. Емкость системы полеобразования оценена расчетным путем исходя из ее геометрических размеров на основании требований [2]. Величина этой емкости составила $C_{\text{п}} = 8 \text{ пФ}$. Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 4 в виде графика зависимости напряжения на высоковольтном электроде системы полеобразования от времени. Из приведенной зависимости видно, что при указанных значениях параметров схемы ГИН и подключенных к его выходу формирующих элементов форма напряжения на нагрузке соответствует требованиям стандартов [2, 3].

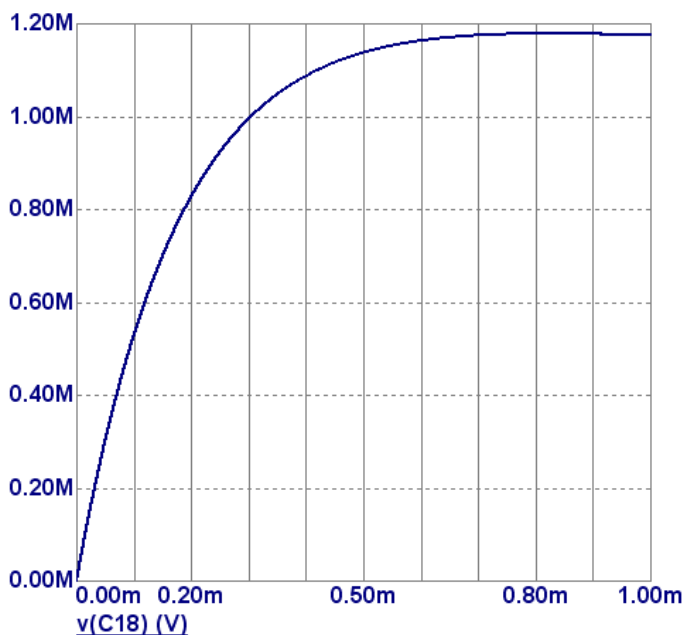


Рис. 4. Результаты моделирования напряжения на высоковольтном электроде

Для реализации предложенной схемы необходимо дополнить испытательный комплекс высоковольтного зала следующим высоковольтным оборудованием:

1. Устройством формирования, состоящим из высоковольтного импульсного конденсатора и резистора. Емкость конденсатора и сопротивление ре-

зистора должны соответствовать параметрам приведенной компьютерной модели, а рабочее напряжение - выходному напряжению ГИН (1.2 МВ).

2. Высоковольтными зарядными резисторами (в соответствии с параметрами приведенной компьютерной модели).

3. Полеобразующей системой, удовлетворяющей требованиям стандартов [2, 3].

4. Импульсным измерительным делителем напряжения, позволяющим проводить регистрацию формы импульсов в диапазоне времен от сотен наносекунд до единиц миллисекунд при их амплитуде от 50 кВ до 1.5 МВ.

Для работы ГИН при субмиллисекундной длительности фронта испытательных импульсов требуется произвести замену установленных зарядных резисторов ГИН на новые, отличающиеся большей величиной сопротивления. Сопротивления имеющихся резисторов не позволяют генерировать импульсы, имеющие длительность фронта несколько сотен микросекунд. Это связано с тем, что в процессе такого длительного разряда ГИН возникают значительные потери энергии, связанных с разрядом его емкостей через схему заряда. Разработанные зарядные резисторы выполнены в герметичных корпусах изготовленных из поливинилхлоридных водопроводных труб, в которые помещены по 8 резисторов типа ТВО – 5, соединенных последовательно. На концах труб напаяны стандартные фитинги, с установленными на них выводами резисторов. Корпуса резисторов заполнены изоляционным маслом ВГ, что обеспечивает электрическую прочность конструкции во всем возможном диапазоне зарядных напряжений.

Для метрологического обеспечения испытаний, в высоковольтном зале должно быть оборудование для осциллографических измерений импульсов испытательного напряжения. Таким оборудованием является импульсный делитель напряжения, изоляция которого должна выдерживать выходной импульс ГИН при его полном заряде.

Разработанный высоковольтный емкостно-омический делитель (рис. 5) имеет автономное питание и оптронную развязку выходного сигнала. Это обеспечивает гальваническую развязку измерительных цепей с контуром заземления и с сетью питания высоковольтного зала. Информация о форме измеренного импульсного напряжения передается от делителя в фотоприемник по световоду длиной 30 м и затем регистрируется цифровым осциллографом.

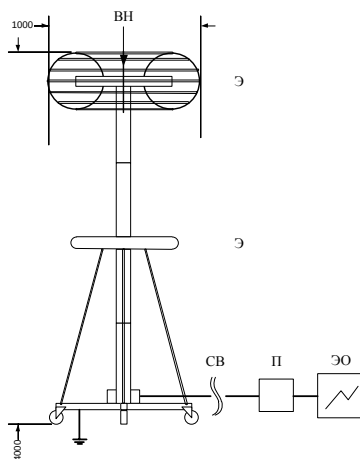


Рис. 5. Высоковольтный емкостно-омический делитель напряжения.
ВН – высокое напряжение, Э – экраны, СВ – световод,
П – преобразователь, ЭО – электронный осциллограф

Делитель оборудован подвижной платформой, которая обеспечивает возможность его перемещение по высоковольтному залу. Конструкция делителя модульная разборная. Высоковольтное плечо делителя состоит из 4 модулей, которые соединены между собой с помощью резьбового соединения. Каждый модуль содержит 13 групп соединенных последовательно – параллельно конденсаторов $2 \times \text{ПОВ } 330 \text{ пФ } 16 \text{ кВ}$ и резисторов ТВО-5 - 8.2 кОм .

Выводы.

Высоковольтное оборудование большого высоковольтного зала НТУ "ХПИ" может быть использовано для испытаний новых видов средств защиты технических объектов от воздействия даров молнии и других научно-исследовательских целей в том случае, если оно будет модернизировано и дополнено формирующим устройством, увеличивающим длительность фронта импульса высокого напряжения, а также измерительным комплексом для осциллографической регистрации испытательных импульсов.

Список литературы: 1. Генераторы импульсов высокого напряжения / Смирнов С.М., Терентьев П.В. – М.: Энергия, 1964. – 239с. 2. French Standard: Protection of structures and open areas against lightning using ESE air terminals. — NF C 17 102. — 1995. — P. 65. 3. Spanish Standard: Protection of structure and of open areas against lightning using early streamer emission air terminals. — UNE 21186. — 1996.

А.И. РОГАЧЁВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
В.В. НЕВЗГЛЯД, студент НТУ «ХПИ»,
В.В. ФИЛОН, студент НТУ «ХПИ»

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

У статті розглянуто енергозберігаючі процеси в електроприводах постійного струму з двигуном незалежного збудження та розроблена методика розрахунку параметрів таких процесів за допомогою пакету Matlab.

В статье рассмотрены энергохранящие процессы в электроприводах постоянного тока с двигателем независимого возбуждения и разработанная методика расчета параметров таких процессов с помощью пакета Matlab.

In given article economy energy processes in electro drives of direct current with independent excitation is consideration, and work out method calculation of parameters such processes with the help package Matlab.

Постановка проблемы. При разработке и внедрении законов оптимального управления, минимизирующих потери энергии в электроприводе постоянного тока, работающего значительную часть своего рабочего цикла в переходных режимах, одной из главных проблем остаётся задача определения величин параметров энергосберегающего закона движения в реальном времени. В работах [1, 2] подобная задача решалась для двухинтервального, оптимального по быстродействию процесса. При этом был предложен метод, обеспечивающий абсолютную сходимость вычислительного процесса решения системы двух нелинейных уравнений как при вещественных, так и при комплексных корнях характеристического многочлена. На основе этого метода была составлена программа, которая подтвердила основной теоретический результат. В работе [3] аналогичная задача решалась для трёхинтервального, минимального по энергопотерям в якорной цепи электропривода, закона управления, при котором на первом и третьем интервалах напряжение на якоре должно принимать максимальное значение разных знаков, а на втором должно обеспечивать постоянство тока якорной цепи при заданном времени общего переходного процесса. При этом дополнительно были получены формулы для расчёта погрешностей вычислений, появляющихся из-за численного метода решения нелинейных уравнений.

В более сложных случаях, т.е. при необходимости решения систем нелинейных уравнений третьего и более высоких порядков использование указанных методов становится невозможным. Необходимо рассмотреть способы использования более мощных вычислительных средств в виде современных пакетов прикладных программ, к числу которых относится Matlab.

Цель статьи – на примере системы позиционного электропривода постоянного тока с двигателем независимого возбуждения решить задачу оптимального управления, минимизирующего потери энергии в якорной цепи, и разработать программу расчёта параметров оптимального управления и оптимальной траектории движения с привлечением пакета прикладных программ Matlab. Как предельный случай выполнить указанные решения для системы оптимального быстрогодействия аналогичного объекта.

Математическая модель объекта. Силовая часть электропривода постоянного тока с тиристорным преобразователем и двигателем независимого возбуждения описывается системой

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{d\tau} = \omega \\ \frac{d\omega}{d\tau} = \frac{1}{\beta_m}(i - m_c), \\ \frac{di}{d\tau} = u - \omega - i \end{cases}$$

где φ, ω, i - угол поворота выходного вала, угловая скорость и ток якорной цепи соответственно, β_m - отношение электромеханической постоянной времени к электромагнитной, τ - относительное время, u - напряжение на якоре, m – постоянный момент нагрузки [3]. Рассмотрим случай $\beta_m \geq 4$. При этом корни характеристического уравнения вещественные. Известно [4], что в этом случае оптимальный по быстродействию закон состоит из трёх интервалов релейного управления, если ограничено только u . Для примера в таблице 1 приведены уравнения движения на первом интервале $\varphi(\tau), \omega(\tau), i(\tau)$ при $u(\tau) = \text{const} = +u_{\max}$. Аналогичным образом записываются уравнения движения на втором и третьем интервалах при соответствующем изменении $u(\tau)$. Затем производится стыкование решений в конце второго интервала и составляется система трёх уравнений относительно неизвестных длительностей интервалов τ_1, τ_2, τ_3 . Решение этой системы даёт возможность определить общую минимальную длительность переходного процесса $\tau_{\min}$ и получить затем траектории изменения тока, скорости и угла поворота в любой момент времени внутри интервала $[0 - \tau_{\min}]$. В задаче минимизации потерь энергии для того же объекта оптимальное управление также состоит из трёх интервалов, но на первом и на третьем из них управление u также

Таблица. Уравнения оптимального управления

Интервал	Уравнения оптимального управления при $\beta_m > 4$
1	$u = +u_{\max}$
	$\varphi(\tau) = \varphi_0 + (i_0 - m) + \beta_m(\omega_0 - u + m)$ $+ \frac{\lambda_2[(i_0 - m) - \beta_m\lambda_2(\omega_0 - u + m)]}{2b} e^{\lambda_1\tau} -$ $- \frac{\lambda_1[(i_0 - m) - \beta_m\lambda_1(\omega_0 - u + m)]}{2b} e^{\lambda_2\tau} + (u - m)\tau$
	$\omega(\tau) = \frac{[(i_0 - m) - \beta_m\lambda_2(\omega_0 - u + m)]}{2b\beta_m} e^{\lambda_1\tau}$ $- \frac{[(i_0 - m) - \beta_m\lambda_1(\omega_0 - u + m)]}{2b\beta_m} e^{\lambda_2\tau} + u - m$
	$i(\tau) = \frac{\lambda_1[(i_0 - m) - \beta_m\lambda_2(\omega_0 - u + m)]}{2b} e^{\lambda_1\tau}$ $- \frac{\lambda_2[(i_0 - m) - \beta_m\lambda_1(\omega_0 - u + m)]}{2b} e^{\lambda_2\tau} + m$

принимает максимальное значение того или иного знака, а на втором – изменяется по линейному закону, причем время переходного процесса задано. Для этой задачи выполнены аналогичные математические действия и также составлена система трёх нелинейных уравнений, которые и будут решаться с помощью пакета Matlab в следующем разделе.

Основной раздел. Были рассмотрены две модели, одна описывает оптимальное управление по быстродействию, а другая – оптимальное управление, минимизирующее потери в электроприводе. Модели были описаны при помощи программы Simulink, одно из приложений к пакету Matlab [5, 6]. При моделировании с использованием программы Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осу-

шествляет расчет. Для решения системы уравнений применен стандартный блок алгебраического контура Algebraic Constraint. Блок находит такое значение выходного сигнала, при котором значение входного сигнала становится равным нулю, при этом выходной сигнал прямо связан с входным. Вывод результатов осуществляется непосредственно на экран в соответствующие блоки цифрового индикатора Display, ввод данных – с клавиатуры в соответствующие блоки источника постоянного сигнала Constant. Исходными данными для работы являются: отношение постоянных времени β_m , граничные условия в начале $\varphi(0), \omega(0), i(0)$ и конце $\varphi(\tau_k), \omega(\tau_k), i(\tau_k)$ интервала, а для задачи минимизации потерь необходимо ввести длительность переходного процесса τ_k .

Модель расчета параметров оптимального управления позволяет видеть одновременно исходные данные, длительность интервалов управления и длительность всего переходного процесса, а также значения тока якорной цепи i , угловой скорости вращения вала двигателя ω и угла поворота вала двигателя φ на каждом интервале управления.

При построении модели используются такие стандартные блоки программы Simulink.

Источник постоянного сигнала Constant.

Назначение: задает постоянный по уровню сигнал.

Блок входного порта Inport.

Назначение: создает входной порт для подсистемы верхнего уровня иерархии. Сигнал, подаваемый на входной порт подсистемы через блок Inport, передается внутрь подсистемы. Название входного порта показано на изображении подсистемы как метка порта.

Цифровой дисплей Display.

Назначение: отображает значение сигнала в виде числа.

Блок выходного порта Outport.

Назначение: создает выходной порт для подсистемы верхнего уровня иерархии. Сигнал, подаваемый в блок порта Outport внутри подсистемы, передается в модель (подсистему) верхнего уровня. Название выходного порта показано на изображении подсистемы как метка порта.

Блоки математических операций Math.

Блок вычисления суммы Sum.

Назначение: выполняет вычисление суммы текущих значений сигналов. Блок можно использовать для вычисления разности текущих значений сигналов.

Блок умножения Product.

Назначение: выполняет вычисление произведения текущих значений сигналов. Можно использовать для операции деления сигналов.

Блок вычисления математических функций Math Function.

Назначение: выполняет вычисление математических функций.

Блок вычисления тригонометрических функций Trigonometric function.

Назначение: выполняет вычисление тригонометрической функции.

Блок алгебраического контура Algebraic Constraint.

Назначение: выполняет поиск корней алгебраических уравнений.

На рис. 1 представлена общая схема расчета параметров оптимального по быстродействию управления, а на рис. 2 общая схема расчета параметров оптимального по потерям электроэнергии управления в электроприводе постоянного тока. В данных схемах введены блоки, с помощью которых вычисляются промежуточные данные текущих значений тока, скорости и угла поворота. Отдельные блоки на каждом интервале вычисляют постоянные интегрирования. Выведенные на схему блоки Display позволяют контролировать текущие значения фазовых переменных на каждом интервале.

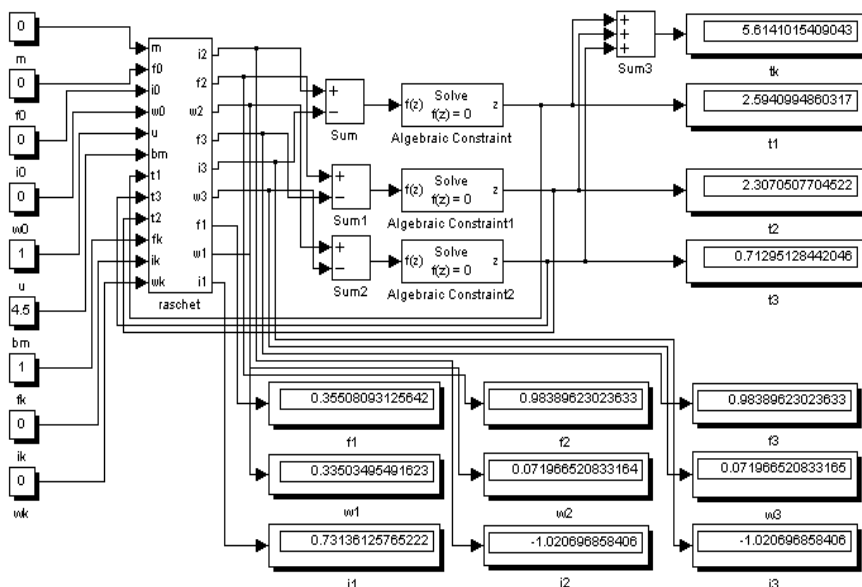


Рис. 1. Схема расчета параметров оптимального по быстродействию управления

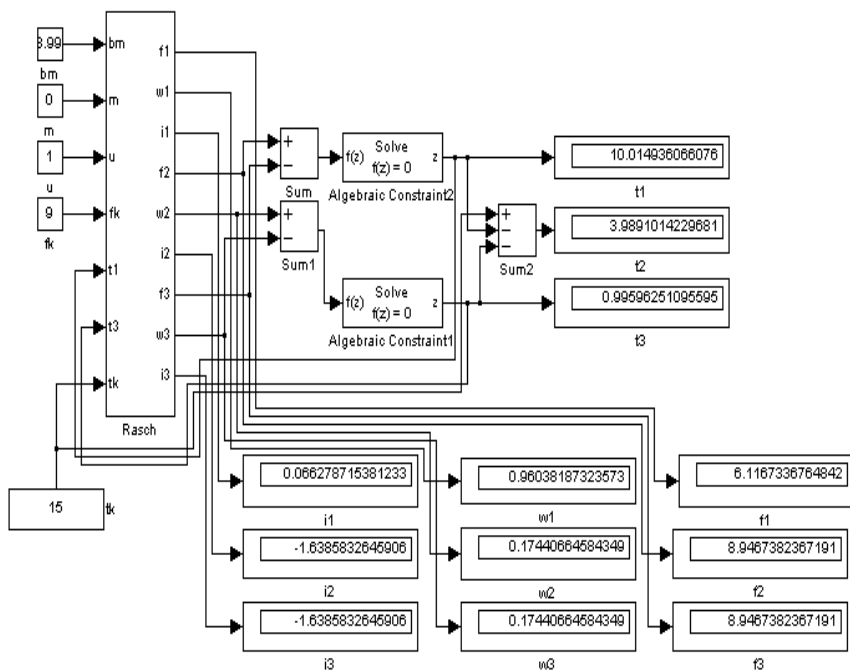


Рис. 2. Общая схема расчета параметров оптимального по потерям электро-энергии управления

Выводы. На базе пакета прикладных программ Matlab построена программа по принципу визуального программирования, позволившая автоматизировать процесс расчёта параметров оптимального управления при различных критериях оптимальности. На основе структуры этой программы можно создать быстродействующее устройство расчёта параметров в реальном времени.

Список литературы: 1. *Рогачёв А.И., Сухер А.Н., Дудник А.В.* Метод расчёта оптимальных переходных процессов электроприводов в реальном времени// *Збірник наукових праць*, випуск 17: ДонДТУ:Донецьк: ДонДТУ, 2000. - С.35-37. 2. *Рогачёв А.И., Сухер А.Н.* Расчёт параметров переходных процессов в *быстродействующих* электроприводах постоянного тока//*Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. - Харків: ХарДАЗТ, 2001. - №6. - С.16-18. 3. *Рогачёв А.И.* Оценка погрешностей вычислений при расчёте параметров оптимального энергосберегающего электропривода// *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. - Харків: ХарДАЗТ, 2000. - №6. - С.58-61. 4. *В.Д. Пышкало, Л.В. Акимов, В.П. Шамрай.* Оптимальные по быстродействию промышленные электроприводы.-Москва: Энергия, 1967. - 104 с. 5. *Черных И.В.* «Simulink: Инструмент моделирования динамических систем». - 2004. – 230 с. 6. *Соколов Ю.Н.* Компьютерный анализ и проектирование систем управления. Ч.3. Оптимальные системы / Учеб. пособие. Харьков: «ХАИ», 2006. – 272 с.

Поступила в редакцию 05.10.11

В.В. РУДАКОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
С.М. БУТКО, инженер НТУ «ХПИ»,
Е.Е. СЕРГЕЕВА, инженер НТУ «ХПИ»,
С.В. РУДАКОВ, канд. техн. наук, доц. НУ ГЗУ, Харьков

МЕТОДИКА УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Запропоновано методику визначення ресурсу високовольтних імпульсних конденсаторів за результатами випробувань змінною напругою промислової частоти

Предложена методика определения ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов за результатами испытаний переменным напряжением промышленной частоты

The method of life time determination of high voltage pulsed capacitors which based on results of AC tests is proposed.

Представлена методика оценки срока службы импульсных высоковольтных конденсаторов с малым тангенсом угла диэлектрических потерь, работающих в режиме длительного (более 0,1с заряда) и быстрого (единицы-десятки мкс) разряда по результатам испытаний на переменном напряжении промчастоты. Использование в конденсаторах пленочных диэлектриков с малым тангенсом угла диэлектрических потерь (менее 0,003) позволяет увеличить частоту следования импульсов при испытаниях в десятки раз без угрозы развития тепловых процессов, влияющих на ресурс. Однако при этом ужесточаются требования к коммутирующей аппаратуре, а также ко всем элементам схемы. Одним из возможных путей решения этой задачи является испытание на переменном напряжении 50 Гц при близких к рабочим напряженностям и оценка перерасчета ресурса на режим импульсных испытаний.

Изменяющееся по гармоническому закону переменное напряжение на конденсаторе можно представить как последовательное чередование элементарных колебательных импульсов. При этом время заряда в элементарном импульсе $t_{зар.}$ соответствует четверти периода, а время разряда $t_{разр.}$ $\frac{3}{4}$ периода этих колебаний. Аналогичным образом можно представить форму напряжения конденсатора, работающего в импульсном режиме. В случае импульсного колебательного режима каждая последующая составляющая часть импульса из положительной и отрицательной полуволн имеет меньшие значения амплитуды напряжения за счет затухания. При установлении связи между результатами ресурсных испытаний на переменном и импульсном напряжении приняты следующие допущения: методика применима для режимов, исключающих влияние тепловых процессов, существенно влияющих на ресурс, т.е. для изоляции с малым значением тангенса угла диэлектрических потерь; ресурс M определяется с использованием известной формулы «жизни» для конденсаторной изоляции [1]:

$$M \sim U_{\Delta}^{-n}, \quad (1)$$

где U_{Δ} – размах напряжения в одном элементарном цикле, $U_{\Delta} = U_i(1 + \sqrt{\Delta})$; Δ – декремент колебаний; n – показатель степени, эмпирическое значение которого составляет 5÷16; ресурс при испытаниях переменным напряжением определяется как число элементарных импульсов за все время испытаний;

ресурс в импульсном режиме определяется как расчетное число элементарных импульсов, определенное по числу и форме ожидаемых физических циклов заряд - колебательный затухающий разряд. Причем частота следования первого элементарного импульса соответствует частоте физических циклов напряжения заряд - колебательный затухающий разряд, а частота следования последующих затухающих элементарных импульсов в одном цикле соответствует частоте разряда. При равенстве числа элементарных импульсов определяются значения напряжения, частоты следования, декремента колебаний и частоты разряда, соответствующие ожидаемому физическому ресурсу импульсного конденсатора. Или при заданных значениях напряжения, частоты следования, декремента колебаний и частоты разряда, определяется фактический ресурс импульсного конденсатора путем сравнения числа расчетных элементарных импульсов с результатами ресурсных испытаний на переменном напряжении. Расчетная зависимость ресурса от напряжения и декремента колебаний определяется формулой (1), а зависимость от частоты заряда и разряда имеет вид степенной зависимости

$$M = b F^q \quad (2)$$

где b и q – эмпирические коэффициенты, составляющие для бумажно-масляной и пропитанной пленочной изоляции следующие значения, $b=0,055-0,21$; $q=0,237-0,482$ [2].

Проведены пробные испытания конденсаторной секции, изоляция которой состоит из трех слоев пятнадцати микронной полиэтилен-терфталатной пленки ПЭТ-Э, пропитанной трансформаторным маслом Т-1500, на переменном напряжении. Ресурс, выраженный в количестве элементарных импульсов, составил $3,1 \cdot 10^5$ импульсов при амплитудном значении напряженности электрического поля 95 кВ/мм (принято $f=50$ Гц и $F=50$ Гц). Проведены проверочные испытания в импульсном режиме на 2 образцах секций при частоте следования $f=0,8$ Гц и частоте разряда $F=50$ кГц. Декремент колебаний составил 1,7. Режим типичен для установки по определению места повреждения кабеля с использованием разрядов конденсатора. Для сокращения испытаний уровни напряженности электрического поля при заряде в физическом цикле повышались произвольно ступенчато в диапазоне 110 кВ/мм-170 кВ/мм с подачей не менее 700 импульсов на каждой ступени. Расчетные значения ресурса (в элементарных импульсах), отнесенные к напряженности 95 кВ/мм по формуле (1) при типовом значении показателя степени $n = 6$, [2] с учетом усредненных значений коэффициентов $b=0,14$ и $q=0,319$ составили $3,17 \cdot 10^5$ и $4,1 \cdot 10^5$ соответственно. Уровень напряженности до 95 кВ/мм соответствует неизменности тангенса угла диэлектрических потерь, что было проверено на образцах экспериментально прибором ИПИ-10. Это позволяет предположить о подобии физических процессов при переменном и импульсном напряжениях при данных уровнях напряженности. Достаточно хорошая корреляция (при статистической наработке большого числа образцов значения минимального и максимального ресурса могут отличаться на порядок) свидетельствует о возможности применения рассмотренного подхода. Необходимо проведение уточняющих экспериментов и исследований, в том числе определение распределения электрического поля в краевых зонах обкладок с учетом проводимости пропитывающей жидкости.

Список литературы: 1. Кучинский Г.С. Высоковольтные импульсные конденсаторы. Л.: Энергия, 1973. – 174 с. 2. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.А. и др. Исследование зависимости ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком от режимов эксплуатации // Электротехника. - 2006. - №6. - С. 38-41.

С.А. СЕВЕРІНА, магістр НТУ «ХПІ»,
В.М. БАЛЄВ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧОТИРЬОХПОЛЮСНИКА

Розроблена система вимірювання амплітудно частотної характеристики чотирьохполосника, яка виконана в якості приставки до комп'ютера. Програмне забезпечення розроблено з використанням пакету програм LabVIEW.

Разработана система измерения амплитудный частотной характеристики четырехполосника, которая выполнена в качестве приставки к компьютеру. Программное обеспечение разработано с использованием пакета программ LabVIEW.

A system for measuring the amplitude frequency response that has been conducted as attachments to your computer. For software used software package LabVIEW.

На відміну від окремих фізичних величин, для визначення яких достатньо зробити один вимір, АЧХ, наприклад, радіопристрою являє собою сукупність вимірів – криву залежності амплітуди вихідної напруги чотирьохполосника від частоти напруги при сталості амплітуди сигналу на вході. Таку характеристику можна одержати, по-перше, маючи, генератор і вольтметр, знімаючи її по крапках, по-друге осцилографічним методом, маючи спеціальний пристрій – характеріограф.

Однак, в першому випадку, число точок для отримання необхідної точності може бути великим, і процес вимірювання займе значний період часу. По-друге, з причини того, що крива відтворюватиметься по точках, можливо упущення вимірювань характеристики в проміжках між ними. По-третє, за тривалий інтервал часу, необхідний для вимірювання характеристики, АЧХ вимірюваного об'єкта може змінитися, наприклад, через вплив навколишньої температури або нестабільності напруги живлення [1].

Вказані недоліки значною мірою усуваються при використанні спеціального приладу для дослідження АЧХ з осцилографічним індикатором або двокоординатним механічним самописцем. Але ми живемо вже в 21 столітті, і змальовувати з екрана осцилографа зображення несучасно. До того ж такі прилади недешеві, займають багато місця і не завжди можуть передати інформацію в комп'ютер (ПК), де можна зробити подальшу її обробку.

Тому зараз розвивається напрям комп'ютеризації цифрових вимірювальних приладів (ЦВП), який одержав назву комп'ютерних вимірювальних пристроїв (КВП). Сьогодні це один з найбільш перспективних напрямів у розвитку ЦВП, що може значно зменшити вартість витрат на обробку вимірювальної інформації при проведенні складних експериментів. Комп'ютерні вимірювальні пристрої представляють сполучення персонального комп'ютера із вимірювальними платами вводу-

виводу. На цих платах виконуються різні функціональні вузли ЦВП. В данному випадку плата вконана у вигляді приставки до ПК і з'єднується з ним за допомогою інтерфейса RS-232.

Таким чином, нове покоління ЦВП відрізняється широкими функціональними можливостями, високими швидкодією і точністю, якою донедавна володіли лише зразкові й еталонні засоби вимірювальної техніки, підвищеними характеристиками надійності, зручністю експлуатації, малими масогабаритними показниками, доступністю цін і іншими перевагами.

Програмне забезпечення (ПЗ) має визначальне значення для розширення функціональних можливостей комп'ютеризованих ЦВП, у тому числі для підвищення інтелектуалізації розв'язуваних задач при одночасному спрощенні їхньої експлуатації, і для зменшення середньої вартості виконання однієї вимірювальної задачі. Тому розвиток комп'ютеризованих ЦВП супроводжується розробкою відповідного ПЗ (базового і спеціалізованого), що забезпечує їхню роботу із ПК-платами, і відзначається можливостями по введенню, опрацюванню, відображенню даних на екрані, взаємодії з оператором [2].

Для данної системи вимірювання використовується існуючий програмний продукт LabVIEW, який в силу специфіки розв'язуваних ним завдань, найбільш повно підходить для реалізації вимог, що пред'являються до програмного забезпечення.

Розроблена система призначена для спостереження та вимірювання амплітудно-частотних характеристик різних чотириполюсників (фільтрів, підсилювачів, ВЧ - трансформаторів, атенуаторів) в режимі реального часу. Спостереження ведеться на екрані комп'ютера. Крім того, прилад можна використовувати як генератор з кроком перебудови частоти 0.1 Гц. Програмно-апаратна система складається з двох частин: власне приладу (апаратна частина) і комп'ютерної програми, яка встановлюється на комп'ютер. Обмін даними між приладом та програмою забезпечується через порт RS-232.

Основні характеристики приладу представлені нижче:

Діапазон частот	10 Гц - 20 кГц
Похибка частоти	$\pm 0,1$ Гц
Шаг сітки вимірювання	від 0,1 Гц
Діапазон вихідної напруги	(0-10) В
Похибка вихідної напруги	$\pm 0,05$ В
Діапазон температур	від 10 °С до 45 °С
Похибка виміру	не більше 1 %.
Напруга живлення	5 В

Схема системи (рисунок) виконана на мікросхемах високого та середнього ступеня інтеграції. В системі використані мікросхеми фірм MAXIM та Analog Devices.

Оператор ПК (через програмне забезпечення) задає параметри дослідження: форму сигналу, діапазон вимірювання, шаг сітки вимірювання.

ПК передає через з'єднувальну шину введені дані до мікроконтролеру

вання, цей процес повторюється у рамках діапазону досліджень (F кінцева).

Наприкінці дослідження сформована таблиця відповідностей амплітуд до частот передається до ПК, програмне забезпечення якого згідно отриманих даних будує АЧХ і проводить її аналіз і відображення.

Прилад виконаний в невеликому корпусі. На передній панелі приладу розміщені коаксіальні роз'єми CP-50, світлодіод індикації живлення. На задній панелі приладу розташовано гніздо RS 232 для підключення до комп'ютера.

На сучасному етапі розвитку приладобудування важливе місце займає не тільки матеріальна частина, а і програмне забезпечення. При створенні програмного забезпечення важливо скоротити часові й прямі фінансові витрати на розробку ПЗ, мінімізувати складнощі, пов'язані з налагодженням і моделюванням складних математичних алгоритмів, які потрібні для проміжних і підсумкових результатів і вимірювань. При цьому середовище розробки ПЗ повинна відповідати всім вимогам, що пред'являються до мов програмування, підтримувати всі сучасні протоколи обміну даними, володіти високою сумісністю з іншими мовами програмування. Ці фактори вплинули на користь середовища LabVIEW фірми National Instruments для створення програмного забезпечення в даній розробці.

Високоєфективне програмне середовище LabVIEW, поєднує простоту графічного підходу з гнучкістю потужної мови програмування. За допомогою LabVIEW замість написання тексту програми створюється графічна блок-діаграма віртуального приладу. Однією з основних переваг ПЗ розробленого в LabVIEW є її мульти-платформеність, тобто вона підтримує роботу на основних операційних системах (Windows, UNIX, Linux, MacOS).

Коли отримані вихідні дані, потужні математичні інструменти і засоби моделювання LabVIEW дозволяють виявити потрібну інформацію і потім забезпечити візуалізацію у вигляді графіків.

Як і будь-яка інша високорівнева мова програмування LabVIEW є повноцінним компілятором і дозволяє створювати виконувані модулі (файли .exe) і динамічні бібліотеки (файли .DLL). Генерований програмний код оптимізований таким чином, що швидкодія порівнянна з кодом, одержуваним в С-компіляторах.

Рекомендаціями з поліпшення характеристик приладу є підвищення точності виміру, розширення частотного діапазону за рахунок побудови інших аналогових трактів на іншій елементній базі а також поліпшення інтерфейсу користувача за рахунок модернізації програмного забезпечення на персональному комп'ютері.

Список літератури: 1. Гутніков В. С. Методи та засоби вимірювання / В. С. Гутніков. – Л.: Энергия, 1980. 2. Чинков В. М. Основи метрології та вимірювальної техніки. Підручник / В. М. Чинков. – Х. : ХВУ, 2001. – 424 с. 3. Технічний опис мікросхеми Atmega 16. Інформація з сайту www.atmel.com 4. Технічний опис мікросхеми AD 9833. Інформація з сайту www.analog.com 5. Технічний опис мікросхеми AD 736. Інформація з сайту www.analog.com

Поступила в редакцію 04.10.11

СОДЕРЖАНИЕ

Борисенко А.Н., Резинкин О.Л., Самсонов В.П., Тверитникова Е.Е., Кафедра теоретических основ электротехники. 80 лет в ХПИ	3
Качанов П.А., Кордюмов А.И История развития научно-технической школы кафедры «Автоматика и управление в технических системах» НТУ «ХПИ».....	9
Кондрашов С.І., Тверитникова О.Є. Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології і системи». Історичний нарис.....	14
Гуртовая Е.П., Бутрим Ю.И., Трубчанова Н.В. Кафедра «Радиоэлектроника» НТУ «ХПИ». Этапы развития.....	20
Баишов Е.А., Бозиев М.Ш., Зори С.А., Ковальский С.В. Организация визуализации местоположения объектов радиолиний в компьютерных системах анализа и идентификации оперативной обстановки радиотехнических комплексов	24
Борисенко А.Н., Кубрик Б.И., Лавриненко О.В., Сосина Е.В. Обоснование и выбор информационных сигналов для систем управления и технической диагностики дизель-генераторов	32
Бойко Н.И., Евдошенко Л.С., Иванов В.М Коммутация энергии тиристорами и транзисторами из низковольтной цепи в высоковольтную в трансформаторных генераторах высоковольтных импульсов.....	41
Борцов А.В., Резинкин О.Л. Система управления и защиты высоковольтного генератора с субмикросекундным фронтом	43
Брезгунов А.В., Козлов С.С. Вычисление значения шумовой компоненты отклика коррелятора при использовании негармонических опорных колебаний	49
Васильченко О.Г., Лиманська К.В. Аппарат для восстановления работоспособности человека.....	53
Веприк Ю.Н., Лебедева С.Н. Эффективность средств компенсации емкостных токов в электрических сетях 6-10 кВ	57
Гусельников В.К., Бреус К.О. Вимірювач параметрів вібрації з дистанційною передачею інформації	65
Гусельников В.К., Терентьева А.Д. Розробка універсальної метеорологічної станції.....	69
Гусельников О.В. Вимірювальний прилад.....	73
Давиденко А.П., Славков В.Н. Индукционный нагрев в задачах теплового неразрушающего контроля и при определении теплофизических свойств объектов	77

Домнин И.Ф., Резинкина М.М., Чаган А.Е.	
Использование высокочастотного нагрева для обработки слабопроводящих сред (обзор)	83
Евсина Н.А.	
Анализ способов сушки капиллярно-пористых материалов и методов их автоматизации	88
Звягинцева Е.А., Дудник А.В.	
Применение рекуррентных нейронных сетей для идентификации параметров ДПТ	92
Зуев А.А., Гапон Д.А.	
Особенности физического моделирования гусеничного движителя в тренажерных комплексах	97
Ивашко А.В., Потапенко А.И.	
Алгоритмы выделения объектов на изображении	103
Кондрашов С. И., Дроздова Т.В.	
Определение числа опорных ситуаций для модели управления «ситуация – действие»	112
Крылова В.А.	
Методика выбора параметров гнездовых свёрточных кодов	118
Мащенко Т.Г., Богатирьев І.М., Комарчук К.В.	
Мікропроцесорний пристрій контролю магнітного поля та напруги	122
Мащенко Т.Г., Козлова А.М.,	
Вейвлет-аналіз електрокардіографічного сигналу	126
Мигущенко Р.П., Кропачек О.Ю., Мараховська М.М.,	
Тверитникова О.Є.	
Дослідження інформаційної моделі геліосистеми	133
Овсеев М.В., Балеv В.Н.	
Построение системы авторизации по голосу и изучение алгоритмов её работы.	138
Полярус О.В., Поляков Є.О.	
Метод відновлення сигналу на вході датчика	142
Резинкин О.Л., Ревуцкий В. И.	
Экспериментальный стенд для испытаний на молниестойкость в высоковольтном зале НТУ «ХПИ»	148
Рогачёв А.И., Невзгляд В.В., Филон В.В.	
Расчёт параметров энергосберегающего управления в электроприводе постоянного тока	156
Рудаков В.В., Бутко С.М., Сергеева Е.Е., Рудаков С.В.	
Методика ускоренных испытаний высоковольтных импульсных конденсаторов	162
Сєвєріна С.А., Балеv В.М.	
Система вимірювання динамічних характеристик чотирьохполюсника	164

НАУКОВЕ ВИДАННЯ
ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

Тематичний випуск

АВТОМАТИКА ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Збірник наукових праць

Випуск № 57'2011

Науковий редактор д.т.н., проф. Качанов П.О.

Технічний редактор Хіхлю О.В.

Відповідальний за випуск к.т.н. Обухова І.Б.

Обл. вид. № 189-11

Підп. до друку 16.12.2011 р. Формат 60x84 1/16. Надруковано на цифровому видавничому комплексі Rank Xerox DocuTech 135. Умов. друк. арк. 10,0. Облік. вид. арк. 10,0. Наклад 300 прим. 1-й завод 1-100. Зам. № .
Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідectво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
