



Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Материалы
VI Научно-практической конференции
с международным участием

При поддержке гранта РФФИ

**Томск 2015
27-30 мая**

УДК 621.391.08(063)
ББК 32.965л0
И741

И74 Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI научно-практической конференции (27–30 мая 2015 г.) / под ред. А.В. Юрченко; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015.–258с.

Сборник предназначен для специалистов, исследователей в сфере приборостроения, контроля и управления качеством, а также по проблемам НИРС в вузах.

УДК621.391.08(063)
ББК32.965л0

Секции конференции:

Секция 1. Разработка измерительных преобразователей, приборов и систем.

Секция 2. Применения современных средств измерений и информационных технологий.

Секция 3. Инновационные технологии в радиофизике, СВЧ и полупроводниковой электронике.

Секция 4. Организационные и методические вопросы подготовки специалистов в области информационно-измерительной техники и технологий. (Использование информационных технологий в образовательном процессе)

Секция 5. Информационно-измерительная техника в неразрушающем контроле (Молодежная секция).

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», г.
Томск
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г.
Барнаул

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель конференции: Юрченко А.В., д.т.н., зав. лаб. ИНК ТПУ
Председатель 1 секции: Гольдштейн А.Е., д.т.н., зав. каф. ИИТ ИНК ТПУ
Председатель 2 секции: Siemens E., prof., Anhalt University of Applied Sciences,
Köthen, Germany, сопредседатель: Козлов А.В. к.т.н., науч. сотр., ИОА СО РАН
Председатель 3 секции: Якубов В.П., д.ф.-м.н., зав. каф. радиофизики ТГУ
Председатель 4 секции: Сырямкин В.И., д.т.н., профессор, заслуженный
работник высшей школы РФ, лауреат премии правительства РФ, академик МАНВШ и
РАЕН, , зав.каф. управления качеством Томского государственного университета

Ученый секретарь: Козлов А.В., к.т.н., науч. сотр. ИОА СО РАН
Секретарь конференции: Вавилова Г.В., старший преподаватель кафедры ИИТ
ИНК

СОДЕРЖАНИЕ

СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ НА ОСНОВЕ ДВУСТОРОННИХ МОДУЛЕЙ С СИСТЕМОЙ ВЫРАБОТКИ ВОДОРОДА <i>А.В. Юрченко, О.В. Алдошина</i>	8
ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ЦИФРОВЫХ СВЯЗИ <i>А. В. Юрченко, В. П. Разинкин, А. Д. Мехтиев, О. В. Алдошина, В. В. Югай</i>	14
ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ АВТОДИННЫХ КВЧ ДАТЧИКОВ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИИ <i>А.П. Люлякин, Е.В. Балзовский, В.П. Якубов, В.И. Юрченко*</i>	19
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ С ВИБРОСТЕНДА ИВ5 <i>Д. К. Бражанова, Г. М. Тусупбекова</i>	23
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ В СРЕДЕ MATLAB <i>Динь Ван Тай</i>	29
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СУХИХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ <i>Е.А. Дудин</i>	35
ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ НА ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ40 <i>Г.М. Ералинова, А.Е. Слямова</i>	40
ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ <i>Е.С. Жевтун, Е.И. Уразбеков</i>	45
КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ФАКЕЛА В ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛАХ <i>Б.Ш. Жунисбеков</i>	50
ЕМКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ С МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ ДЛЯ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ <i>Д. О. Зятьков, А. В. Юрченко, В. Б. Балашов*, В. И. Юрченко**</i>	55
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПРИЗНАКОВ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ <i>Б.С.Линхобоев, Д.К. Авдеева</i>	61
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ И ГРАНИЦ РАЗДЕЛА МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКИХ СРЕД <i>Ма Синсин, А.Б. Степанов</i>	65
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ ПО ГОСТ 27893 – 88 <i>С.В. Мазиков, Г.В. Вавилова</i>	70

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ САХАРА В КРОВИ	
<i>М.А. Мезенцева, Т.А. Букрина*</i>	74
ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ	
<i>Т.Р. Муксунов, И.Ю. Кузьменко, В.П. Якубов</i>	83
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ПЛАТЫ СБОРА ДАННЫХ NATIONAL INSTRUMENTS	
<i>С.Ж. Мурзаханова</i>	89
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР	
<i>А.М. Мырзабекова</i>	95
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЯ	
<i>А.С. Нааматов</i>	102
ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА	
<i>Д.К. Нгуен, М.М. Южаков</i>	109
АТТЕСТАЦИЯ ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ	
<i>Р. О. Нысанбаева</i>	113
О РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО КАДАСТРА НЕДВИЖИМОСТИ	
<i>А.И. Павлова, Т.Н. Матышева</i>	117
ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УГОЛКОВОЙ АНТЕННЫ	
<i>М.А. Пономарева</i>	120
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ТОРГОВОЙ СТРАТЕГИИ НА ФИНАНСОВОМ РЫНКЕ	
<i>М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов</i>	124
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ	
<i>Пань Янъян</i>	129
ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ НАКЛАДНЫМ ВТП	
<i>Ван Юй</i>	136
ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ ЦОКОРА	
<i>В.В. Генералов, А.С. Запасной, А.В. Клоков</i>	144
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ В АКТИВНОМ ТЕПЛОВИМ КОНТРОЛЕ	
<i>В.В. Ширяев, Го Вэньцзя, Люй Цзинье</i>	149
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СДВИГОВ ФАЗ МЕНЕЕ 1°	
<i>Е.К. Киселёв, Д.В. Миляев</i>	155

ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ И НЕОДНОРОДНЫЕ ВОЛНЫ В МЕТАМАТЕРИАЛЕ <i>А.С. Мироньчев, В.П. Якубов</i>	159
БЕСКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДИАМЕТРА И ОВАЛЬНОСТИ КРУГЛЫХ ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ <i>Н. Е. Мыктыбаев, Е. М. Федоров</i>	165
ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ИЗДЕЛИЯ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ДЕФЕКТА ПРИ АКТИВНОМ ТЕПЛОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ <i>А. А. Разумова, В. В. Ширяев</i>	172
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КОРОНОСТОЙКОСТИ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ <i>Д.В. Вторушин</i>	182
ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИНИКОМПЬЮТЕРА BEAGLEBONE BLACK <i>Янь Юйхао</i>	184
ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО ДИАМЕТРА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТРУБ <i>Чжун Ян</i>	187
РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ПОВЕРКИ ТЕРАОММЕТРА <i>А.А. Коба</i>	194
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ <i>Н.С. Старикова, В.В. Редько</i>	198
КОНТРОЛЬ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ОДНОЖИЛЬНОГО КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА <i>А.Е. Гольдштейн, Г.В. Вавилова</i>	201
УПРАВЛЯЕМАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ РАДИОВИДЕНИЯ <i>С.Э. Штилов, А.И.Еремеев, В.П. Якубов</i>	204
РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ДИОДОМ <i>А.Г. Быков, Д.В. Лосев, Д.С. Бардашов</i>	210
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФОКУСИРОВКА СШП СИГНАЛОВ <i>В.П.Якубов, С.Э. Штилов, И.С.Цепляев</i>	220
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ С КРУГОВЫМ СКаниРОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОЙ РЕШЕТКОЙ МИКРОФОНОВ <i>Д.Я. Суханов, Н.Н. Ерзакова</i>	226
DEVELOPMENT OF LABORATORY SET-UP FOR STUDYING THE FLOW OF FLUID IN OIL PIPELINE <i>A. S. Belov, N. V. Kurkan</i>	232
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PROGRAM FOR DATA ACQUISITION AND PROCESSING IN SENSOR NETWORKS WITH TEMPERATURE SENSORS <i>E.S. Bauer, L.V. Galsanova, and L.I. Khudonogova</i>	236

OVERVIEW OF MOTION AND PRESENCE DETECTION SYSTEMS USED IN SMART LIGHTING SYSTEMS

A.S. Goponenko, I.G. Matveev 241

DESIGN OF DETECTION MODULE FOR SMART LIGHTING SYSTEM

I.G. Matveev, A.S. Goponenko 247

DEVELOPMENT OF PROGRAM FOR MEASURING THE MOTOR ROTATION SPEED WITH THE HALL SENSOR

V. Ryazanova 251

SYSTEM CONTROL PARAMETERS OF DRILLING

M.A. Nosaev 256

УДК 621.31:535.215

**СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ НА ОСНОВЕ ДВУСТОРОННИХ МОДУЛЕЙ С
СИСТЕМОЙ ВЫРАБОТКИ ВОДОРОДА
(SOLAR POWER PLANT ON THE BASIS OF BILATERAL MODULES WITH
HYDROGEN GENERATION SYSTEM)**

А.В. Юрченко, О.В. Алдошина
A.V. Yurchenko, O.V. Aldoshina

Томский политехнический университет
E-mail: oxi80-07@mail.ru

В статье рассмотрена эффективность использования солнечных модулей в европейских странах, приведен сравнительный анализ получения энергии различных альтернативных источников. Подробно рассмотрена система солнечной электростанции на основе двусторонних модулей с системой выработки водорода, ее принцип работы и эффективность в различных режимах. Выполнено сравнение производительности систем предложенной солнечной электростанцией на основе двусторонних модулей с системой выработки водорода и традиционной солнечной электростанции.

(The article describes the efficiency of solar modules in Europe, the comparative analysis of various alternative energy sources. The article details the solar power system on the basis of bilateral modules with the hydrogen generation system and its working principle and efficiency in various modes. The comparison of the performance of the proposed solar power systems on the basis of bilateral modules with hydrogen generation system and a traditional solar power is presented.)

Ключевые слова:

Солнечная электростанция, электроэнергия, возобновляемые источники энергии, водород, альтернативные источники энергии.

(Solar power station, electric power, renewables source of energy, hydrogen, alternative energy source)

В Карагандинском государственном техническом университете в 2013 году создана экспериментальная солнечная электростанция на основе двусторонних модулей пиковой мощностью 2,2 кВт и с системой позиционирования. Основой для электростанции является двусторонние панели в количестве 8 штук. Электростанция разделена на два независимых блока, состоящих из 4 двусторонних модулей каждый. Половина модулей данной электростанции размещена на не поворотной конструкции без системы слежения, это необходимо для установления эффективности следящей системы.

Передача мощности будет, осуществляется по двухжильному кабелю, который является линией постоянного тока, которая имеет ряд преимуществ, по отношению в линии переменного тока и в частности имеет низкие потери. Модули соединяются последовательно, что обеспечивает напряжение 200 В постоянного тока от одного блока солнечной электростанции. Линия проходит от солнечной электростанции, расположенной во дворе КарГТУ до здания спорткомплекса КарГТУ. В спорткомплексе установлен инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный, подключение потребителя осуществляется через прибор учета. Данная электростанция обеспечивает электроэнергией две раздевалки студентов. Нами разработан комплект конструкторской документации для изготовления поворотной платформы (которая обеспечит оптимальное положение солнечных панелей относительно солнца. Данная система отличается значительной оригинальностью и обеспечивает хорошую сопротивляемость порывам ветра, что типично для карагандинского региона, особенно в зимнее время года, когда ветер резко меняет свое направление. С учетом этих обстоятельств и принято решение отказаться от типовой системы поворота и размещение панелей на поворотной стойке.

В ходе научно-исследовательской работы было решено внести в проект ряд инновационных технических решений. Первое решение связано с потерями электрической энергии при передаче на большие расстояния. Для устранения этого недостатка было принято решение о внедрении в солнечную электростанцию высоковольтной линии постоянного тока,

что позволит сократить потери электроэнергии до 3% на 1000 км. Высоковольтные линии постоянного тока позволят разместить солнечную электростанцию в местах не пригодных для сельхоз работ. При использовании этой технологии инверторы располагаются непосредственно возле мест использования электроэнергии.



Рис. 1. Конструкция двухсторонней солнечной электростанции

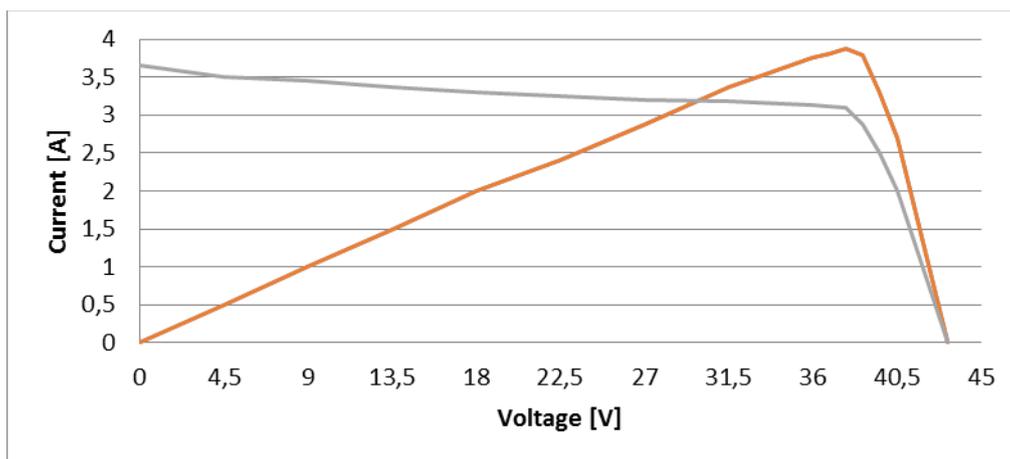


Рис. 2. Вольт амперная характеристика тыльной стороны солнечного модуля

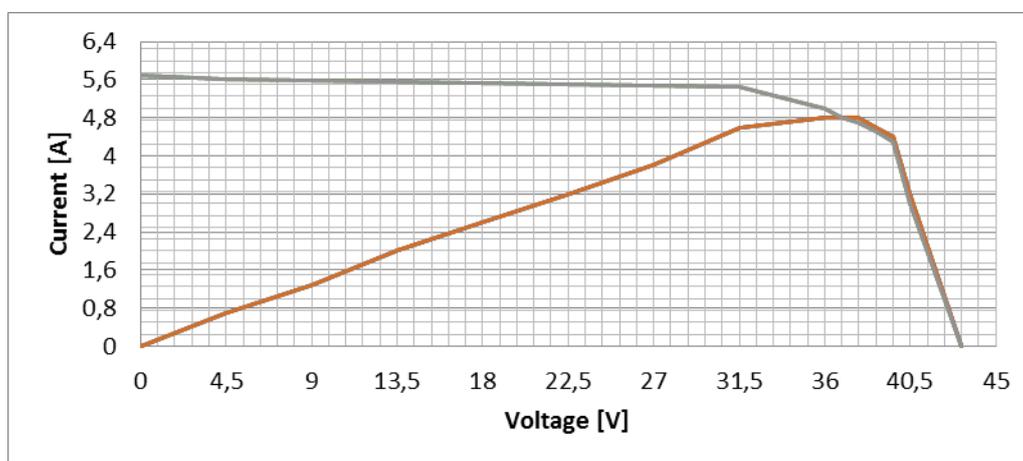


Рис. 3. Вольт амперная характеристика лицевой стороны солнечного модуля

В результате испытаний было выявлено, что электрические параметры зависят от уровня освещенности, при испытаниях значения освещенности составляла 1000 Вт/м², с температурой поверхности фотоэлектрических элементов (25±2). При данных условиях минимальное значение пиковой мощности одного модуля составило с лицевой стороны 176 Вт и 97 Вт с тыльной.

Двусторонние солнечные модули способны генерировать электроэнергию от солнечных лучей, полученных как от лицевой поверхности, так и от тыльной, путем попадания остаточного солнечного света, рассеянного и отраженного на заднюю рабочую поверхность панели.

В течение десятилетий ученые разрабатывали и до сих пор дорабатывают солнечные панели данного типа, но они как правило слишком дорогие, чтобы конкурировать с традиционными солнечными панелями.

Одна из зарубежных компаний плотно работающая с альтернативными источниками энергии, недавно объявила, что она разработала двусторонние солнечные батареи, которые производят на 50% больше электрической энергии, чем обычные панели в вертикальных установках. Так же они заявляют, что панели являются более доступными, чем традиционные панели. Конечно же если смонтировать панель строго вертикально, то можно добиться 50% увеличения мощности. Все СЭС смонтированы под определенным углом, а значит их мощность сократится и по сравнению со стандартной односторонней панелью, будет все равно превышать на 10%-30%. Общая мощность солнечной панели, которая состоит из 60 ячеек, будет равна 275-315 Вт, это является хорошим показателем среди обыкновенных панелей.

Секретом этих двусторонних солнечных батарей является использование Бора (B), вместо Алюминия (Al), который намного лучше справляется с генерацией солнечной энергии в электрическую. За счет выработки большей электроэнергии на квадратный метр, удалось довести стоимость этих двусторонних солнечных элементов до конкурентоспособного уровня. Так же одним из положительных качеств двусторонних солнечных панелей является их занимаемая площадь для выработки одного и такого же количества электроэнергии по сравнению с обычными панелями. [1]

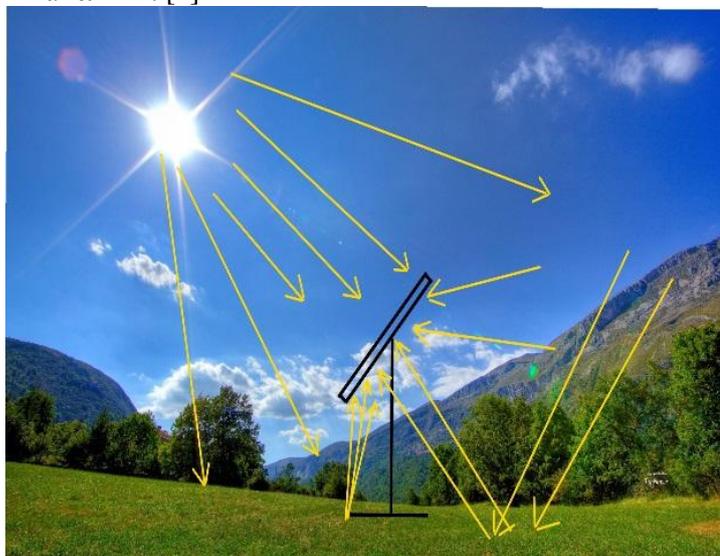


Рис. 4. Двусторонняя панель в работе

Хотя солнечные панели считаются одними из самых чистых и возобновляемых источников энергии среди доступных источников, но также имеет некоторые воздействия на окружающую среду. Солнечные панели используют фотоэлементы для производства электрической энергии. Тем не менее, для производства фотоэлектрических ячеек требуется кремний, от которого остаются продукты отходов. Повторная обработка этих материалов может привести к опасному воздействию на человека и окружающую среду. Установка солнечных электростанций требует большого участка земли, в связи с этим нарушается экосистема окружающей среды. Солнечные панели не загрязняют воздух, когда преобразуется

электричество с помощью солнечных панелей. Солнечные панели ни каким образом не влияют на глобальные потепления в мире.

Преимущество двухсторонних солнечных элементов и двухсторонних модулей на их основе состоит в том, что обе стороны производят электроэнергию при облучении их светом. При этом мощность тыльной стороны составит 70% относительно лицевой. В обычных (односторонних) элементах и модулях только передняя (лицевая) сторона активна. В двухсторонних солнечных модулях электроэнергия, вырабатываемая лицевой и тыльной сторонами суммируется. Таким образом, использование двухсторонних модулей выгодно там, где тыльная сторона панели тоже доступна для солнечного света, либо напрямую, либо посредством направленного или рассеянного отражения, что позволяет сократить площадь земельного участка под электростанцию.

Для применения отраженного света для тыльной стороны солнечной панели достаточно закрепить его на определенном расстоянии (0,2 – 0,5 м) от опорной поверхности, тыльная сторона поверхности будет освещаться рассеянно отраженным светом. Такой метод освещения тыльной стороны наиболее легкий и простой в применении, и очень экономичен. Если при этом опорная поверхность (стена, крыша и т.д.) будет белого цвета или иметь светоотражающее покрытие (к примеру, зеркальную пленку), суммарная мощность панели может вырасти до 20%.

Двухсторонние солнечные панели изготавливаются из солнечных элементов, которые поглощают солнечное излучение, как с лицевой, так и с тыльной стороны. Они преобразовывают солнечное излучение в электрическую энергию с обеих сторон. В таком солнечном элементе, эффективность преобразования солнечного излучения на лицевой стороне на несколько процентов больше, чем на тыльной стороне и достигает значения 19%. Эффективность фотоэлемента с тыльной стороны составляет – 14-18%. В ряде случаев такие солнечные батареи позволяют получить прибавку к выработке электроэнергии от 10 до 50 процентов, по сравнению с традиционными односторонними солнечными панелями. Количество дополнительно вырабатываемой электрической энергии солнечной установки, которую возможно получить при применении двухсторонних солнечных модулей зависит от объема дополнительного солнечного излучения, которое попадает на тыльную сторону панели.

В основном солнечные установки спроектированы таким образом, что применение такого вида солнечных панелей может принести ощутимую выгоду. По некоторым конструктивным особенностям солнечные панели устанавливаются под углом 90°, например, в виде ограждения. В этом случае применения двухсторонних солнечных батарей может повысить эффективность выработки энергии до 50%. [2]

На сегодняшний день в мире активно развиваются передовые технологии и инновационные направления альтернативных источников. Лидерами в этом направлении являются Германия, Япония, США, страны Евросоюза, но доля процентного соотношения к традиционным источникам составляет максимально около 10%. Сейчас в процесс развития данных технологий активно включились Россия, Украина, Казахстан у каждой из стран есть свои планы развития и практической реализации. В настоящий момент времени примерно из двух тысяч компаний производят солнечные модули осталось примерно 900, так как многие свернули свое производство из за отсутствия спроса на их продукцию. Стоимость 1 Вт сегодня составляет примерно 4-5 долларов за ватт мощности и КПД 10-15 %, это обстоятельство делает их не доступными для широкого круга потребителей, из –за высоких капитальных и эксплуатационных затрат. Без государственных субсидий и дотаций производство электроэнергии становится не рентабельным по отношению к традиционным источникам. Сегодня в некоторых странах для развития альтернативной энергетики Правительство компенсирует частично затраты и закупает произведенную ими энергию по повышенному тарифу. Актуальным сегодня например является снижение стоимости 1 Вт промышленного производства фотоэлектрических модулей и повышения КПД, а также уменьшения площади фотоэлектрических электростанций и повышение эффективности работы. Мировыми лидерами в разработке передовых технологий и производстве солнечных модулей и ветрогенераторов являются США, Германия и страны Евросоюза, Япония, активно развиваются в этом направлении Китай и Корея. [3]

Ещё одна отличительная особенность существующих солнечных электростанций – это наличие аккумуляторов. Их дороговизна и короткий срок службы делает использование солнечных электростанций не всегда пригодными.

На данный момент времени целью является разработка оптимальной конструкции солнечной электростанции на основе двухсторонних модулей с системой выработки водорода и линией постоянного тока, адаптированной к климатическим условиям России с перспективой снижения себестоимости выработанной электроэнергии.

Созданная электростанция должна справляться со следующими задачами:

1) Солнечная электростанция на основе двухсторонних солнечных модулей ориентированной на прямой отпуск электроэнергии в сеть без аккумуляторов, с системой выработки и накопления водорода, для последующего преобразования его в топливных элементах в электроэнергию.

2) Должна иметь оригинальную систему выработки и накопления водорода, для последующего преобразования в электроэнергию, с использованием топливных элементов не содержащих платину, что позволит существенно сократить стоимость капитальных затрат и себестоимость выработанной электроэнергии.

3) Обладать автоматизированной системой управления и контроля для отслеживания всех показателей станции и ликвидации дефицита мощности в пиковый момент увеличения нагрузки или питания потребителей в темное время суток или плохих погодных условий.

4) Принципиально новой системой передачи электрической мощности по линии постоянного тока с минимальными потерями с установкой инвертора и энергосберегающего компенсатора реактивной мощности на месте потребления с возможностью разделения нагрузки на постоянную переменную, для снижения затрат на инвестирование.

5) Оригинальной системой электролизера с катализатором выработки водорода и системы ориентации фотоэлектрических модулей.

Созданная СЭС позволит компенсировать дефицит электрической мощности в дневное время и снизит нагрузки на электростанции.

Сравнение с существующими аналогами: Отличительной особенностью от своих аналогов предложенная альтернативная гибридная система имеет принципиально новую концепцию построения, основанную на достижении самых передовых технологий и нашими разработками основанных на оригинальных решениях и системном научном подходе. Особенностью является использование объединение в одно целое солнечных модулей системы выработки водорода и линий постоянного тока. Современные фотоэлектрические станции в зарубежных странах, например Германии работают без аккумуляторных накопителей только в дневное время на прямой отпуск электроэнергии в сеть, и могут быть только использованы, как дополнительные источники для компенсации пика дефицита мощности, их целесообразность использования и рентабельность в основном заключается в тарифной политике европейских стран. Самым распространённым вариантом хранения электроэнергии является использование аккумуляторных батарей, которые имеют относительно малый ресурс работы (3-5 лет) и высокую стоимость, практически равную до 40% от стоимости установки. Это позволяет осуществлять питание потребителей в тёмное время суток и при плохих погодных условиях. Такая электростанция не имеет недостатков своих аналогов описанных выше, благодаря использованию системы выработки водорода и его хранения, который преобразуется в топливных элементах. Для увеличения выработки водорода при электролизе применяется оригинальный способ катализации существенно повышающий КПД. Выработанный водород более удобен для хранения и дальнейшего использования и в отличие от аккумуляторов ресурс накопительных устройств не зависит от количества циклов зарядки и разрядки. В топливных элементах не используется платина, что значительно уменьшает их стоимость и снижает себестоимость вырабатываемой электроэнергии. Система абсолютно безвредна для птиц, пчел и окружающей среды. Защищен от воздействия молний вследствие применения алюминиевой конструкции. [4]

В Казахстане и в России практически полностью отсутствуют собственные практические наработки в данном направлении, в настоящий момент на долю альтернативных источников приходится менее 1% произведенной электроэнергии. Значимость такой СЭС в национальном и международном масштабе заключается во внедрении собственных систем производства

электроэнергии с использованием на основе экологически чистых возобновляемых источников, созданных на основе передовых наукоемких технологий. Это позволит России и Казахстану, обладая значительным потенциалом в области альтернативной энергетики, существенно повысить долю выработанной электроэнергии по отношению к доли традиционных источников, практически реализовать основные положения государственных программ в сфере «Зеленая энергетика», а также конкурировать на рынке высоких технологий возобновляемых источников.

Гибридная солнечная электростанция позволит уменьшить вредные выбросы в атмосферу, уменьшить парниковый эффект, снизить негативное влияние на окружающую среду. Практическая реализация данной электростанции послужит новым витком развития альтернативной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SHAMS. Power company [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.shampower.ae/en/>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. англ. (дата обращения 4.05.2015).
2. Косяченко, Л.А. Проблемы эффективности фотоэлектрического преобразования в тонкопленочных солнечных элементах CdS/CdTe / Л.А.Косяченко // Физика и техника полупроводников.- 2006.- том 40 вып. 6.- С. 730-746.
3. HEVEL [Электронный ресурс] / О солнечной энергии – Режим доступа: <http://www.hevelsolar.com/solar/>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус. (дата обращения 4.05.2015).
4. Гамбург Д.Ю., Дубовкина Н.Ф. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. - М.: Химия, 2003. - 672 с.

Сведения об авторах:

Алдошина О. В.: г. Томск, аспирант кафедры ИИТ Томского политехнического университета, e-mail: oxi80-07@mail.ru, тел.: 87079217912

Юрченко А. В.: г. Томск, д.т.н. профессор, заведующий лабораторией ИНК Томского политехнического университета, e-mail: niipp@inbox.ru, тел.: 8 (3822) 41-89-11

УДК 621.37

**ВОПРОСЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ
РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ЦИФРОВЫХ СВЯЗИ
(OBJECTIVES OF MEASURING AND EVALUATION OF RADIO TRANSFERRING
DEVICES' SIGNAL PARAMETERS IN DIGITAL SYSTEMS OF COMMUNICATION)**

А. В. Юрченко, В. П. Разинкин, А. Д. Мехтиев, О. В. Алдошина, В. В. Югай
A.V. Yurchenko, V. P. Razinkin., A. D. Mekhtiyev, O. V. Aldoshina, V. V. Yugai

Томский политехнический университет
E-mail: oxi80-07@mail.ru

Проведен краткий обзор необходимых условий для обеспечения устойчивой передачи данных. Проанализированы алгоритмы обработки сигналов, которые основываются на классической теории приема сигналов на фоне аддитивного гауссовского шума без учета априорной неопределенности характеристик сигнала и помех. Предлагается построение СВЧ измерительных аттенуаторов высокого уровня мощности, которые обеспечат постоянное значение вносимого ослабления в широкой полосе частот с заданным уровнем неравномерности. Показано, что применение диплексеров на взаимодополняющих фильтрах нижних и верхних частот позволяет реализовать амплитудно-частотный корректор, согласованный в широкой полосе рабочих частот.

A short overview of the necessary conditions for sustained data transfer is given. Signal processing algorithms, which are based on classical theory of signal receiving in additive Gauss noise without prior uncertainty of signal characteristics and interference, are analyzed. It is proposed to build a microwave measuring high power attenuators that provide constant attenuation level in a wide frequency range with a given level of inequality. We study diplexers with complementary filters of low and high frequency, it allows to realize an amplitude-frequency equalizer for broad band operational frequency.

Ключевые слова:

Передача данных, цифровые системы, широкополосный корректор, фильтр нижних и верхних частот, канал связи.

(Product transmission, digital systems, broadband proofreader, filter of the lower and top frequencies, communication link)

Повышение помехоустойчивости цифровых систем передачи данных по радиоканалу является актуальной задачей для связи, телевидения и телекоммуникационных систем различного назначения. Основной проблемой, которую приходится решать при разработке цифровых радиоканалов, является то, что в общем случае прием сигналов ведется в присутствии шума, спектральная плотность которого может полностью или частично перекрывать спектр полезного сигнала, при этом усугублять ситуацию может присутствие узкополосных гармонических и полигармонических помех. Кроме того, в реальных каналах связи под воздействием различных случайных факторов, в том числе многолучевости распространения сигнала, проявляются изменения характеристик среды, которые называют замираниями. Для статистического описания быстрых и медленных замираний применяется релеевский закон, учитывающий независимость дискретных значений амплитуды сигнала в соседних символах. В ряде случаев в канале связи может проявляться доплеровское смещение частотного спектра, что также ухудшает помехоустойчивость и приводит к возрастанию вероятности ошибки передаваемого символа. Для повышения помехоустойчивости канала связи в условиях рассмотренных выше видов помех весьма эффективным является метод программной перестройки рабочей частоты (ППРЧ), который позволяет в несколько раз больше расширить полосу рабочих частот по сравнению с непосредственным расширением ширины спектра сигнала и соответственно повысить помехоустойчивость канала связи при меньших энергетических затратах. Это в свою очередь

улучшает электромагнитную совместимость радиотехнических и телекоммуникационных систем различного назначения.

Обеспечение устойчивой передачи данных радиопередающими устройствами цифровых систем связи с многопозиционными видами амплитудной и угловой модуляции, остается на сегодняшний день одной из наиболее важных задач обеспечения эффективности использования мощности, полосы частот и времени для высокоскоростной передачи данных с заданной вероятностью ошибки. Следует отметить, что наиболее перспективными видами модуляции с точки зрения спектральной и энергетической эффективности обладают такие виды модуляции, как относительная квадратурная фазовая модуляция с фазовым сдвигом 90 градусов (применяется для цифровых сотовых систем радиосвязи с временным многостанционным доступом- TDMA), модуляция с минимальным сдвигом (применяется в стандарте сотовой связи GSM). Особое место по помехоустойчивости и спектральной эффективности занимает такой вид модуляции как кодированное ортогональное частотное мультиплексирование – COFDM. Этот вид модуляции успешно применен в системах эфирного цифрового телевидения стандарта DVB-T2 и цифровом спутниковом и эфирном радиовещании. Помехоустойчивость данного вида модуляции практически приближается к теоретическому пределу, в частности для цифрового телевидения допустимый уровень соотношения сигнал/шум составляет 10,8 дБ. Ослабление действия мешающих отражений, шумов и импульсных помех может быть обеспечено с помощью цифровой линейной и нелинейной фильтрации. Практическое использование фильтрации различного вида позволяет сократить защитные интервалы, выполнить требования электромагнитной совместимости с другими радиотехническими системами, ослабить действие внешних помех и обеспечить требуемую достоверность приема.

Важным аспектом повышения комплексной эффективности цифровых систем передачи данных является мониторинг и измерение параметров выходного сигнала мощных радиопередающих устройств. Для этого необходимы сверхширокополосные измерительные аттенюаторы высокого уровня мощности. Для построения таких аттенюаторов в данной работе предлагается использовать планарные пленочные резисторы, выполненные на диэлектрической подложке из бериллиевой керамики. Отметим, что теплопроводность бериллиевой керамики приближается к теплопроводности латуни, что позволило получить хороший отвод тепла на металлический радиатор при одновременном обеспечении минимальной паразитной емкости и индуктивности пленочного резистора. Исследования авторов показали, что применение таких пленочных резисторов, нанесенных на бериллиевую керамику (республика Казахстан имеет большие запасы бериллия) позволяет создать многоканальные сверхширокополосные измерительные аттенюаторы на уровень входной допустимой мощности 2 кВт и более в полосе рабочих частот до 1 ГГц. Данные параметры измерительных аттенюаторов позволяют применять их для цифровых передатчиков телевидения, систем связи и телекоммуникаций. Их функциональные свойства и технические характеристики соответствуют действующим в настоящее время стандартам Казахстана и России. Экономическая эффективность применения одного сверхширокополосного аттенюатора высокого уровня мощности по сравнению с комплектом узкополосных аттенюаторов очевидна.

Известные в настоящее время приближенные математические модели маломощных пленочных резисторов в сосредоточенном и одномерно распределенном базисе справедливы на небольшом уровне мощности и на умеренно высоких частотах, поскольку весьма приближенно и грубо учитывают реактивные параметры основных элементов аттенюаторов – пленочных резисторов. Для контроля параметров выходных сигналов мощных радиопередающих устройств необходимо проектировать аттенюаторы, выполненные на мощных пленочных резисторах, в которых проявляется неравномерное распределение тока в поперечном сечении резистивной пленки, краевые и торцевые эффекты, неоднородность электромагнитного поля и ряд других малоисследованных эффектов. Анализ данной проблемы показал, что известные методы построения измерительных аттенюаторов не позволяют на высоком уровне мощности обеспечить требуемые широкополосные свойства. Поэтому актуальной задачей является создание теоретических основ построения широкополосного измерительного оборудования для высокочастотных сигналов большой мощности.

Анализ технических параметров управляемых устройств СВЧ, достигнутых на сегодняшний день, показывает, что основными тенденциями их развития являются: повышение

мощности входного высокочастотного сигнала; улучшение качества согласования; расширение полосы рабочих частот; увеличение динамического диапазона изменения управляемых параметров; обеспечение требуемого уровня подавления высших и комбинационных гармонических составляющих; применение цифровых методов для дискретного изменения управляемых параметров; повышение быстродействия; уменьшение массогабаритных показателей и интегральная микроминиатюризация. В настоящее время в ведущих европейских странах, США, в странах юго-восточной Азии и в Китае резко возрос объём исследований, практических разработок и публикаций по проблеме построения управляемых устройств СВЧ высокого уровня мощности. В России также проводятся аналогичные исследования многими научно-исследовательскими институтами, предприятиями, вузами и научно-производственными фирмами. Тем не менее, имеется острая потребность в управляемых устройствах, обеспечивающих совместную работу приёмо-передающих трактов фазированных антенных решёток с большой мощностью излучения. Широкополосные управляемых устройств СВЧ необходимы для построения измерительного оборудования, используемого для настройки и проверки параметров радиовещательных и телевизионных передатчиков. Управляемые устройства востребованы операторами связи для реализации цифровых модуляторов и компенсаторов нелинейных искажений в усилительных трактах дециметрового и сантиметрового диапазона, а также для подключения резервных блоков. Однако, перечисленные выше потребности сдерживаются отсутствием управляемых устройств нового поколения, способных работать в предельно широкой полосе частот на уровне входной мощности до (1-2) кВт в непрерывном режиме. Отметим, что управляемые СВЧ устройства высокого уровня мощности, в том числе коммутационные, входят в состав измерительных СВЧ аттенуаторов и обеспечивают расширение их функциональных возможностей.

При построении СВЧ измерительных аттенуаторов высокого уровня мощности необходимо обеспечить постоянное значение вносимого ослабления в широкой полосе частот с заданным уровнем неравномерности. Широкополосные аттенуаторы содержат мощные пленочные резисторы и согласующее-компенсирующие цепи, предназначенные для компенсации влияния паразитных реактивных параметров пленочных резисторов. При последовательно-параллельном включении резисторов различной мощности вносимое ослабление аттенуатора имеет значительную частотную зависимость. Для устранения этого эффекта в работе предложено применить согласованный амплитудно-частотный корректор, выполненный на основе управляемых аттенуаторов и частотно-разделительных устройств (диплексов), как показано на рисунке 1.

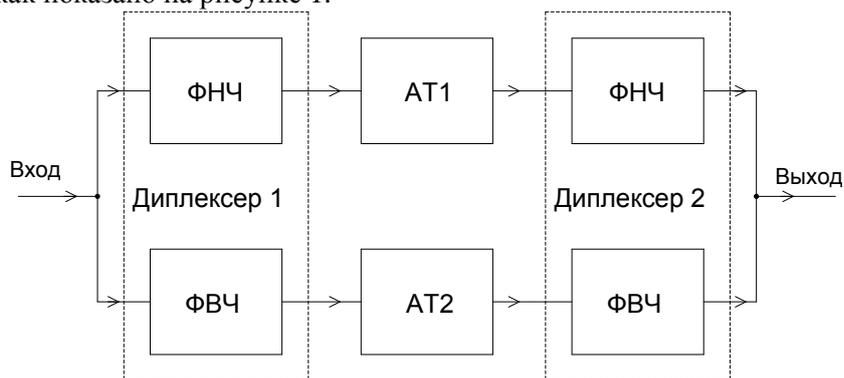


Рис. 1. Структурная схема амплитудно-частотного корректора

Диплексы, входящие в состав широкополосного корректора, содержат дополняющие друг друга по входному импедансу фильтры нижних и верхних частот. В результате компьютерного моделирования установлено, что взаимное влияние друг на друга фильтров приводит к выполнению частотно независимого условия согласования диплекса по входу

$$\dot{Y}_{NF}(f) + \dot{Y}_{HF}(f) = 1 = const, \quad (1)$$

где $\dot{Y}_{NF}(f)$ - комплексная нормированная входная проводимость фильтра нижних частот; $\dot{Y}_{HF}(f)$ - комплексная нормированная проводимость фильтра верхних частот; f - частота входного высокочастотного сигнала.

Из условия (1) и условия унитарности матриц рассеяния диплексера, представляющего собой шестиполосник без потерь, следует еще два интересных условия для диплексера с согласованными нагрузками:

$$\begin{cases} S_{11}(f) = 0 \\ |S_{21}(f)|^2 + |S_{31}(f)|^2 = 1 \end{cases} \quad (2)$$

где $S_{ij}(f)$ - параметры рассеяния диплексера.

Управляя вносимым ослаблением аттенуаторов, можно обеспечить любую форму амплитудно-частотной характеристики корректора – подъем высоких частот, либо подъем на низких частотах. На форму частотной характеристики рассматриваемого корректора влияет также выбор граничных частот и количество элементов в фильтрах диплексера. Анализ, учитывающий соотношения (10) и (11), показывает, что результирующая амплитудно-частотная характеристика корректора \tilde{S}_{21} описывается соотношением

$$|\tilde{S}_{21}(x)| = 20 \lg \frac{|S'_{21}|}{\sqrt{1+x^{2n}}} + 20 \lg \frac{|S''_{21}| \cdot x^n}{\sqrt{1+x^{2n}}} \text{ [дБ]},$$

где $x = \frac{f}{f_0}$ - нормированная частота; $f_0 = \sqrt{f_{NF} f_{HF}}$ - частота стыковки фильтров диплексера; f_{NF} - граничная частота фильтра нижних частот; f_{HF} - граничная частота фильтра верхних частот; n - порядок фильтров диплексера; S'_{21} - коэффициент передачи аттенуатора АТ1; S''_{21} - коэффициент передачи аттенуатора АТ2.

На рис. 2 приведена частотная характеристика предлагаемого корректора, соответствующая случаю $|S'_{21}|_{\text{дБ}} > |S''_{21}|_{\text{дБ}}$.

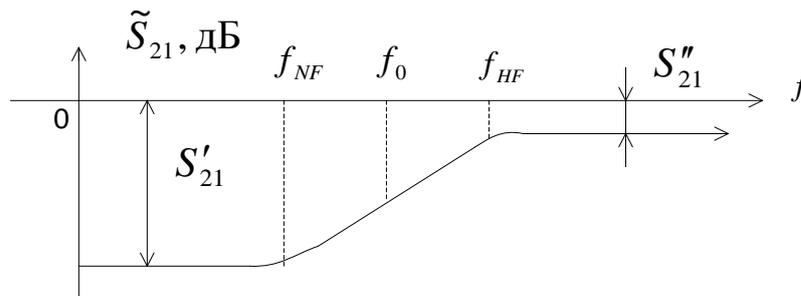


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика корректора

Заключение

Реальная эффективность работы систем связи, телекоммуникаций и телевидения не может быть обеспечена без создания широкополосного измерительного оборудования для оценки большого числа параметров выходного сигнала радиопередающих устройств. Поэтому в данной работе значительное внимание уделено вопросам разработки математических моделей, методов расчета и проектирования данного оборудования, превосходящего в несколько раз имеющиеся в настоящее время аналоги по уровню входной мощности и полосе рабочих частот. Это достигнуто за счет применения декомпозиционного подхода как к отдельным элементам измерительного оборудования, так к структурам его построения. Применение диплексеров на взаимодополняющих фильтрах нижних и верхних частот позволило реализовать амплитудно-частотный корректор, согласованный в широкой полосе рабочих частот, при этом динамический диапазон коррекции определяется вносимыми

ослаблениями аттенуаторов, входящих в состав корректора. При использовании управляемых аттенуаторов корректор становится регулируемым. Предложенный корректор может быть использован в радиоизмерительном оборудовании, а также в системах кабельного телевидения и телекоммуникационных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разинкин В.П., Мехтиев А.Д., Калиаскаров Н.Б. Проектирование высокочастотных фильтров Баттерворта методами компьютерного моделирования при помощи Nuhertz Filter// Сагиновские чтения №4: труды Международной научной конференции, ч. 2, Караганда: Изд-во КарГТУ, 2012. – С.154-156.
2. Разинкин В.П., Мехтиев А.Д., Абросимов А.А. Амплитудный детектор на основе фильтрового диплексера//Современные проблемы телекоммуникаций: российская научно-техническая конференция, Новосибирск, 2012. – С. 242-243.
3. Разинкин В.П., Мехтиев А.Д., Абросимов А.А., Воробьева Ю.С. Метод расчета переходных процессов в СВЧ коммуникационных устройствах// Актуальные проблемы электронного приборостроения: XI международная конференция т. 4, Новосибирск, 2012. – С. 60-62
4. Разинкин В.П., Мехтиев А.Д., Абросимов А.А. Анализ переходных процессов в нестационарных частотно-избирательных цепях // Научный вестник НГТУ. – 2012. – № 2(47) .– С.115-120.
5. Патент РФ №2449431. Многоэлементная СВЧ нагрузка. Аубакиров К.Я., Разинкин В.П., Хрусталева В.А., Рубанович М.Г., Востряков Ю.В., Воробьев П.М. Оpubл. 27.04.2012. БИ №12.
6. Патент РФ №2439754. Амплитудный корректор. Разинкин В.П., Хрусталева В.А., Рубанович М.Г., Востряков Ю.В. Оpubл. 10.01.2012. БИ №1.

Сведения об авторах:

Юрченко А. В.: г. Томск, д.т.н. профессор, заведующий лабораторией ИНК Томского политехнического университета, e-mail: niipp@inbox.ru, тел. 8 (3822) 41-89-11

Разинкин В. П.: д.т.н., профессор, заместитель декана факультета радиотехники и электроники Новосибирского государственного технического университета, e-mail: razinkin@corp.nstu.ru, тел. +7 (383) 346-08-34

Мехтиев А. Д.: к.т.н, доцент Карагандинского государственного технического университета, e-mail: barton.kz@mail.ru, тел. +77078750060

Алдошина О. В.: аспирант кафедры ИИТ Томского политехнического университета, e-mail: oxi80-07@mail.ru, тел. 87079217912

Югай В. В.: докторант Казахского национального технического университета им. К. И.Сатпаева, e-mail: slawa_v@mail.ru, тел.: +77003625437

УДК 621.382

**ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ АВТОДИННЫХ КВЧ
ДАТЧИКОВ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИИ
(INTERFERENCE SPECIFICITY OF ELEMENTS OF THE SELF-HETERODYNE ENF
SENSORS MATRIX FOR RADIO LOCATION)**

А.П. Люлякин, Е.В. Балзовский, В.П. Якубов, В.И. Юрченко*
A. Lyulyakin, E. Balzovsky, V. Yakubov, V. Yurchenko

Томский государственный университет
*ОАО «НИИПП», г. Томск
E-mail: tduty5@mail.ru

Для сканирования объектов, скрытых за радио прозрачными диэлектриками (одежда, упаковка), предложено использовать матрицу приема-передатчиков (автодинов) на слаботочных диодах Ганна миллиметрового диапазона. Излучение элементов матрицы некоррелировано, каждый элемент является датчиком амплитуды отраженной волны. Для плотного заполнения матрицы необходимо изучить взаимное влияние датчиков и выявить факторы уменьшения их взаимодействия при одновременном опросе и оцифровке измерительных данных. Приведены результаты теоретического исследования и численного моделирования симметричной патч-антенны, содержащей два плеча треугольной формы, между которыми установлен диод Ганна. Установлено, что антенна имеет полосу пропускания не более 1,5% при центральной частоте (45-55) ГГц. Расчет поля в близи антенны показал, что наибольшее влияние оказывают торцевые кромки антенны, поэтому предпочтительнее располагать антенны в узлах треугольной сетки. При расстояниях до четырех длин волн на резонансной частоте уровень переизлученного поля не опускается ниже -40 дБ. Это не позволяет располагать антенны, имеющие одинаковые резонансные частоты на малом расстоянии друг от друга и опрашивать их одновременно. Предлагается использовать в составе матрицы набор антенн, отличающихся длиной плеч и значением резонансной частоты, и располагать их рядом. При этом антенны, имеющие одинаковые резонансные частоты, будут расположены на расстоянии, исключающем взаимодействие. Такой подход позволит увеличить скорость опроса автодинных датчиков в составе плотной решетки.

(To scan hidden objects behind the radio transparent dielectrics (clothing, packaging), it is suggested to use the matrix of transceivers (autodynes) based on low-power millimeter-wave Gunn diodes. The radiation elements are non-correlated, each element is a sensor of amplitude of the reflected wave. For filling the matrix of sensors it is necessary to study the mutual influence of the sensors and to find the way to reduce interaction between them when several sensors acts simultaneously. The results of numerical modeling of symmetrical antenna comprising two triangular patches are presented. It has been set that the antenna has a bandwidth of less than 1,5% at a center frequency of 45 to 55 GHz. Calculation of the electric field strength near the antenna shows that the largest mutual interference is at the edges of the antenna. The way to reduce this interaction is the location of the antennas at the nodes of triangular grid. At distances up to four wavelengths at the resonant frequency the level the induced field does not drop below -40 dB. This prevents positioning of the antenna with the same resonant frequency by a small distance from each other. It is proposed to use the set of antennas with different length of arms and resonant frequencies. Thus the antennas having the same resonance frequency, will be located far enough to exclude interaction. This approach will increase the speed survey of autodyne sensors.)

Ключевые слова:

Автодин, диод Ганна, микрополосковая антенна, миллиметровое излучение, резонансная частота.

(Self-heterodyne systems, Gunn diode, patch antenna, millimeter wave sensor, resonant frequency)

Для обеспечения безопасности людей при проведении массовых мероприятий, а также для потокового сканирования грузов на логистических центрах необходимы безопасные, быстродействующие и недорогие системы, позволяющие бесконтактно обнаруживать и определять опасные объекты размером от единиц до десятков сантиметров, скрытые под одеждой, в транспортной таре или за другими оптически непрозрачными препятствиями. Радиоволновые методы обнаружения скрытых объектов [1], несомненно, более безопасны

методов, использующих рентгеновское излучение, однако для обеспечения разрешающей способности в несколько миллиметров требуется измерение как амплитуды, так и фазы отраженного сигнала в широком диапазоне частот, что определяет сложность и высокую стоимость измерительного оборудования. В то же время, использование недорогих узкополосных приемо-передатчиков СВЧ диапазона, размещенных в плотно заполненной матрице и регистрирующих только амплитуду отраженного сигнала, позволяет создать портативные сканирующие системы [2]. Для повышения разрешающей способности таких сканеров предлагается использовать автодинные датчики миллиметрового диапазона на слаботочных диодах Ганна.

Автодинный датчик представляет собой автоколебательную систему, в которой диод Ганна является одновременно и генератором колебаний, и усилителем принятого излучения [3]. Отраженное от зондируемых объектов электромагнитное поле вызывает изменение тока, протекающего через диод. Частота колебаний определяется собственной частотой диода и резонансной частотой антенны. Для плоского печатного исполнения наиболее подходящими являются микрополосковые антенны с треугольными плечами [4], резонансные частоты которых можно задавать, варьируя размеры электродов антенны в небольших пределах.

Для создания матрицы автодинных датчиков с наиболее плотным заполнением возможно расположением элементов в узлах прямоугольной (рис. 1а) или треугольной (рис. 1б) сетки. Для обеспечения максимального быстродействия сканера следует опрашивать наибольшее количество датчиков одновременно. Однако датчики расположены близко, поэтому необходимо оценить их взаимное влияние и подобрать расстояние допустимого взаимодействия в случае, когда все элементы идентичны и работают на одной частоте.

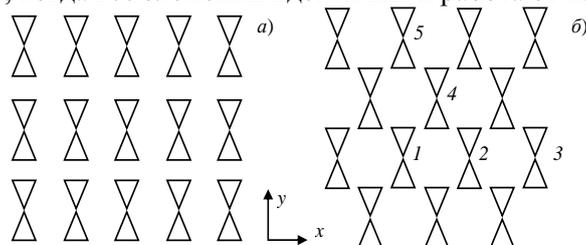


Рис. 1. Расположение датчиков матрицы

Антенна датчика представляет собой симметричную микрополосковую антенну (рис. 2) с треугольными плечами 1 и 2, выполненными печатным способом (или способом напыления) на пластине СВЧ диэлектрика 3 толщиной 0,25 мм, в нижней части покрытой металлом. Бескорпусной диод 4 монтируется с обеспечением контакта с плечами антенны. Предполагается, что цепи питания диода, регистрации и оцифровки будут расположены на одно- или многослойной текстолитовой плате внизу антенны.

Расчетный коэффициент отражения от входа антенны при волновом сопротивлении 50 Ом и диэлектрической проницаемости подложки 3.8 приведен на рис. 3. Полоса согласования по уровню -10 дБ не превышает 1,5% от центральной частоты, значение которой можно задавать в пределах 45-55 ГГц выбором длины плеча антенны.

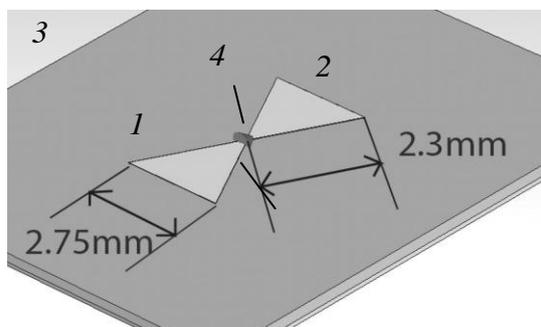


Рис. 2. Геометрия антенны

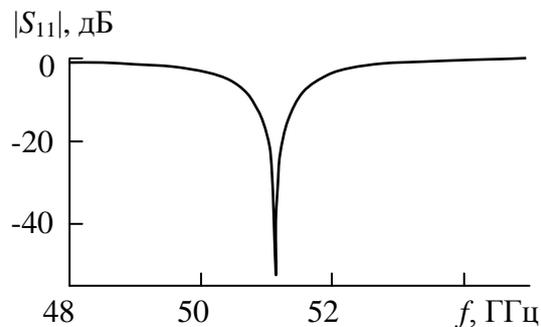


Рис. 3. Отражение от входа антенны

Диаграммы направленности антенны на резонансной длине волны $\lambda = 5,9$ мм в двух плоскостях приведены на рис. 4. Ширина главного лепестка E-плоскости составляет 51 градус, а в H-плоскости 79 градусов. Коэффициент усиления антенны равен 9,7дБ.

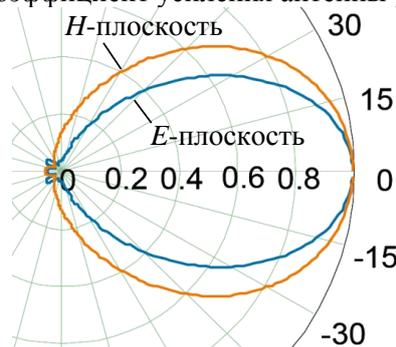


Рис. 4. Диаграммы направленности антенны

Для оценки поведения поля было проведено моделирование одиночной антенны и антенны в составе матрицы излучателей. На рис. 5 представлены зависимости модуля напряженности электрического поля $|E|$ при увеличении расстояния R от центра одиночной антенны вдоль координатных осей (штриховые кривые). Поскольку невозможно определить электрическое поле непосредственно на поверхности плеча антенны или в центре антенны (там находится источник энергии), то была проведена нормировка на значение поля $|E_{max}|$, рассчитанное на расстоянии 2,3 мм ($0,4\lambda$) от центра антенны по оси z (в направлении излучения). Это расстояние определяет радиус сферы, в которую вписана антенна датчика.

В направлении оси y поле убывает медленнее, чем вдоль оси x . Возможно, происходит возбуждение поверхностной волны, которая распространяется вдоль оси y . Датчики, работающие на близких частотах, нельзя располагать на расстоянии менее 5λ друг от друга оси плеча антенны.

Проведено моделирование работы антенны в составе матрицы датчиков. Расположение элементов приведено на рис. 1б, в пронумерованных датчиках расположены порты с волновым сопротивлением 50 Ом для определения S-параметров.

Модуль напряженности электрического поля при изменении расстояния от центра антенны 1 представлен сплошными кривыми на рис. 5. Установлено, что за исключением областей расположения антенн скорость убывания поля слабо зависит от наличия или отсутствия соседних элементов матрицы.

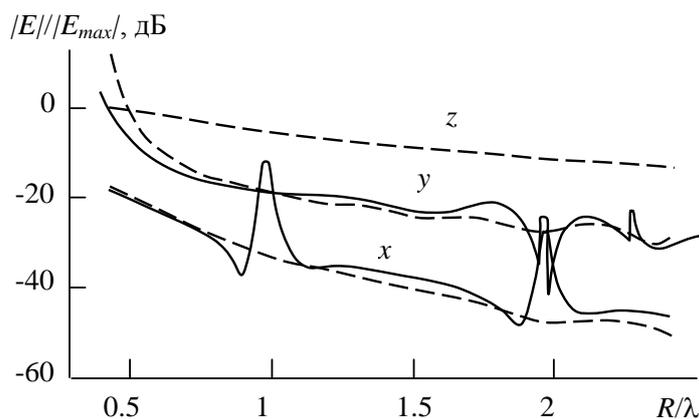


Рис. 5. Зависимость модуля напряженности электрического поля от расстояния вдоль координатных осей

Для контроля развязки между антеннами рассчитаны коэффициенты передачи, показывающие, какая доля мощности выделится в нагрузку соседних антенн при подведении единичной мощности на вход антенны 1. Недостаточная развязка между антеннами 1 и 2 ниже резонансной частоты может быть вызвана нескомпенсированными токами, текущими по

боковым ребрам антенн. Сильное взаимодействие между антеннами 1-4 и 1-5 на частотах выше резонансной частоты обусловлено емкостной связью между торцами антенн.

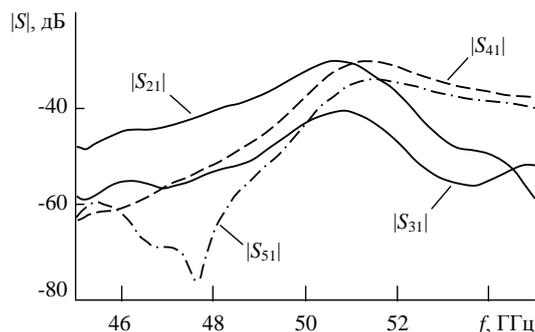


Рис. 6. Развязка между антеннами

Моделирование одиночной антенны и матрицы антенн показало, что на резонансной частоте развязка между соседними антеннами едва достигает -30 дБ на расстоянии 4λ. Поскольку величина поля, наведенного в точках расположения соседних датчиков велика, для повышения скорости опроса автодинных датчиков необходимо использовать литерную систему: соседние датчики должны работать на разных частотах (литерах) в пределах набора из 5-10 частот. Возможно, за счет узкой полосы пропускания, удастся снизить взаимное влияние «разноименных» датчиков при одновременном их опросе. Опрос «одноименных» датчиков необходимо производить в разные интервалы времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов В. П., Шипилов С. Э., Суханов Д. Я., Клоков А. В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 264 с.
2. Федянин И. С., Кузьменко И. Ю., Шипилов С. Э., Якубов В. П. Радиовидение с использованием микроволновых доплеровских датчиков. // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 9. – С. 220-221.
3. Юрченко А. В., Юрченко В. И., Воторопин С. Д. Автодинные датчики в измерительной технике. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 128 с.
4. Люлякин А.П., Трубачев А.А., Юрченко В.И. Подбор архитектуры активных микрополосковых антенн КВЧ диапазона для автодинных датчиков КВЧ-диапазона // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55. – №9/2. – С. 66-67.

Сведения об авторах:

Люлякин А. П.: аспирант кафедры радиофизики Томского государственного университета.

Балзовский Е. В.: доцент кафедры радиофизики Томского государственного университета.

Якубов В. П.: заведующий кафедрой радиофизики Томского государственного университета.

Юрченко В. И.: ОАО «НИИПП», г. Томск.

УДК 62-529

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
С ВИБРОСТЕНДА ИВ5
(DEVELOPMENT OF THE DEVICE TO RETRIEVE INFORMATION
FROM THE VIBRATION TABLE IV5)**

Д. К. Бражанова, Г. М. Тусупбекова
D. K. Brazhanova, G. M. Tussupbekova

Карагандинский государственный технический университет
E-mail: dana_b.k@bk.ru

Целью данной работы является разработка устройства получения информации с вибростенда. Научная новизна работы заключается в реализации результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс. Выявить целесообразность Zlab для организации научных исследований.
(The aim of this work is the practical implementation of methods posing research problems based Zlab. Scientific novelty of the work lies in the implementation of the results of research work into the educational process , study the feasibility of Zlab for the organization of scientific research , the development of research on the stand Zlab.)

Ключевые слова:

Вибростенд, устройство, информация, управление.
(Vibration table, device, information, control.)

Разработка устройства получения информации с вибростенда является актуальной, так как они используются практически в каждой отрасли промышленности, виброиспытаний, создании виброустойчивых образцов, изучения надёжности конструкций и даже на станциях обязательного техосмотра автомобилей. Следовательно, изучение вибрации и её воздействий является очень важной темой в приборостроении.

Таким образом, первоочередной задачей является разработка и внедрение новых методов и принципов совершенствования системы образования в Казахстане, подготовки специалистов, имеющих опыт работы с полностью функционирующими и наглядными образцами стендов повысит общий уровень качества образования.

Подобный контроль необходим в самых разных областях: в полупроводниковой электронике (контроль вибрации установок для выращивания кристаллов), в микроэлектронике (вибрация установок фотолитографии), в машиностроении (вибрация станков и биение деталей), в автомобильной промышленности (контроль вибрации отдельных узлов автомобилей и всего автомобиля в целом), на железнодорожном транспорте (датчики приближения поезда), в энергетике (контроль вибрации лопаток газовых турбин), в авиастроении (контроль биений турбин) и т.д.

В связи с потребностью в работе на высоких скоростях и применением легких конструкций в современном оборудовании статические испытания на сжатие/растяжение не являются достаточными. Необходимы динамические измерения, что и послужило предпосылкой к широкому применению вибрационных испытаний. В лабораторных условиях вибрационные испытания проводятся, как часть программы контроля качества компании, наряду с такими испытаниями, как температурные и испытания на влагостойкость. Испытуемый объект подвергается воздействию вибрации определенного уровня, в соответствии с процедурой, определенной национальными и международными стандартами. Для выяснения динамических свойств какой-либо конструкции важна ее реакция на воздействие вибрации, а не действительный уровень вибрации. При калибровке вибродатчиков производится сравнение на заданном уровне вибрации между датчиком, подлежащим калибровке, и датчиком-эталоном. Для создания определенной вибрации используется электромагнитный возбудитель (называемый также вибратором), который преобразует

электрический сигнал в механическое движение и в заданном режиме поддерживает определенный уровень или силу вибрации.

Первым шагом после установки испытуемого объекта в вибростенд является анализ вибрационных характеристик, с целью проверки его функционирования и изучения воздействия. Для всех типов испытаний резонансы определяются при помощи синусоидальных колебаний. Затем частоты резонансов измеряются, и детально изучается поведение конструкции с помощью ручного управления частотой. Поведение конструкции наиболее легко проанализировать при помощи стробоскопической лампы, запускаемой от схемы управления возбудителя и работающей с частотой возбуждения. Было бы лучше, однако, чтобы сигнал запуска немного отличался по частоте от сигнала возбуждения, что отображается в виде как бы медленно двигающейся картинке. Такую частоту замедленного движения, обычно 3-5 Гц, можно задать на стробоскопе, добавив ее к частоте возбуждения. Дальнейшее изучение поведения конструкции можно продолжить путем ручного ввода задержки сигнала запуска, передвигая таким образом картинку на один или более циклов, или при помощи двойных вспышек, которые позволяют увидеть полную амплитуду колебания резонирующей части [1].

Назначение вибрационной системы заключается в создании определенных и воспроизводимых механических колебаний, передаче их объекту испытаний, а также в имитации реальных условий вибрации, создании переменных напряжений в объекте испытаний для выявления скрытых дефектов, изучении свойств испытываемой конструкции. Поэтому генератор колебаний – вибратор - должен обеспечивать движение только в одном направлении с малыми искажениями и иметь перемещение, скорость и ускорение, обеспечивающие удовлетворение большей части требований по проведению испытаний в пределах создаваемой толкающей силы.

При определении параметров вибрационной испытательной системы необходимо в первую очередь знать:

параметры полезной нагрузки:

-массу; форму; размеры; положение центра тяжести (статическое и динамическое); массу оснастки и т.д.;

режимы испытаний:

-синусоидальной вибрацией; синусоидальной вибрацией со скользящей частотой; случайной вибрацией, широкополосной и узкополосной; ударным нагружением; синусоидальной вибрацией наложенной на случайную;

-ударный спектр и т.д.

дополнительные требования:

-мощностные возможности системы - сможет ли система обеспечить требуемые уровни нагружения для наибольшего из предполагаемых объектов испытаний?

-основные характеристики - перемещение, скорость и частотный диапазон.

-статическая грузоподъемность – нужны ли дополнительные средства для обезвешивания полезной нагрузки?

-эксплуатационные условия – будет ли система эксплуатироваться в лабораторных условиях квалифицированным персоналом или на производстве неподготовленными рабочими? Есть ли ограничения по охлаждению системы: по расходу воды для системы с водяным охлаждением и по количеству отводимого тепла для системы с воздушным охлаждением. Могут быть и другие факторы относительно условий эксплуатации.

условия применения: будет ли система универсальной для испытаний общего назначения или она предназначена для проведения конкретных видов испытаний?

Общая подвижная масса – это масса всех подвижных элементов и поэтому должна включать в себя все, что присоединено к арматуре:

-объект испытаний (полезная нагрузка)

-оснастку (крепления)

-болты

-верхний расширитель

-верхний удлинитель

-температурные барьеры

-акселерометры

- толкатель
- скользящий стол
- подшипники скользящего стола

Установка полезной нагрузки в среднем положении хода стола обычно обеспечивается встроенной системой обезвешивания, но это можно выполнить при помощи внешней системы, например при помощи резиновых амортизаторов [2].

Анализ современного состояния методов получения информации с вибростендов

Важнейшими компонентами вибрационной испытательной системы являются:

- вибратор
- усилитель
- контроллер
- акселерометр

По принципу работы вибратор похож на громкоговоритель, у которого движение катушки (арматуры) происходит в результате взаимодействия двух магнитных полей: переменного и постоянного. Переменное магнитное поле наводится протекающим по катушке током. Постоянное поле создается постоянным магнитом в небольших вибраторах или электромагнитом в больших вибраторах. Обмотку электромагнита обычно называют обмоткой или катушкой возбуждения.

Толкающая сила, создаваемая вибратором, пропорциональна силе тока в обмотке подвижной катушки, плотности магнитного потока в воздушном зазоре магнитной системы и длине обмотки катушки.

Для определения величины силы можно пользоваться следующей формулой:

$$F = B \cdot I \cdot L \quad (1)$$

где F -сила, B - плотность магнитного потока, I – ток, L - длина,

Назначение усилителя – подвести необходимую мощность к подвижной катушке вибратора в виде напряжения и тока. Чем больше требуемая скорость движения арматуры, тем больше нужно напряжение. Чем больше требуемая сила или ускорение, тем больше нужен ток.

Усилитель мощностью 10 кВт имеет максимальное выходное напряжение 100 В скв. и обеспечивает выходной ток 100 А скв., т.е. $100 \text{ В} \cdot 100 \text{ А} = 10000 \text{ ВА}$ (10 кВт). Если коэффициент усиления по напряжению усилителя равен 100, то при входном сигнале 1 В скв. выходное напряжение составит 100 В скв., а максимальный уровень выходного напряжения будет :

$$100 \text{ В скв.} = 141.4 \text{ В ампл.}$$

Это справедливо для синусоидального сигнала, у которого отношение амплитудного значения к среднеквадратическому (скв) значению равно $\sqrt{2}$ (1.414213562). Это отношение называется пик-фактором (амплитудным коэффициентом, коэффициентом формы).

При случайном сигнале необходимо обеспечить пик-фактор для тока равный 3, т.е. отношение амплитуды к среднеквадратическому значению равное 3. Поэтому усилитель должен обеспечивать выходной ток в 3 раза больше максимального среднеквадратического значения. Таким образом, хотя усилитель имеет максимальный выходной ток 100 А скв. он может отдавать в нагрузку ток амплитудой до 300 А.

Назначение контроллера вибрации – следить за тем, чтобы сигнал, получаемый с акселерометра, соответствовал сигналу, запрограммированному в контроллере, другими словами, нагружение испытываемого образца должно соответствовать заданным режимам испытаний. Режимы испытаний вводятся в контроллер оператором. Контроллер сравнивает выходной сигнал акселерометра с табличным значением и вносит коррекцию, чтобы оба сигнала стали равными. Система работает как система с обратной связью. В действительности алгоритм управления гораздо сложнее, чем это представлено, главным образом из-за нелинейности объекта испытаний и оснастки для его крепления на столе вибратора [3].

Сервосистемы существенно нестабильны, так как всегда стремятся поддержать заданный уровень управления, то есть исправить ошибку.

В процессе коррекции ошибки сервосистемы могут:

- реагировать слишком быстро (низкое демпфирование)
- реагировать слишком медленно (высокое демпфирование)

Разные конструкции объектов испытаний и оснастки имеют резонансы разной формы и на разных частотах. Хотя все контроллеры синусоидальной вибрации могут изменять свою частотную характеристику для компенсации этого эффекта, никогда не получится осуществить идеальное управление во всем частотном диапазоне.

Другим моментом, который нужно учитывать, является то, что получаемый контроллером сигнал на резонансных частотах вряд ли будет чистой синусоидой, это будет сигнал, содержащий гармоники.

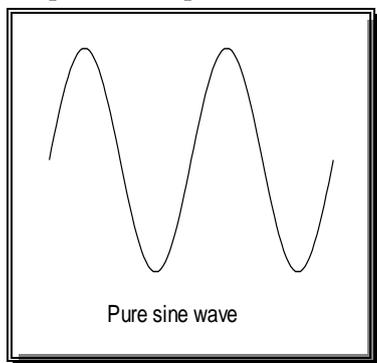


Рис. 1. Чистая синусоида

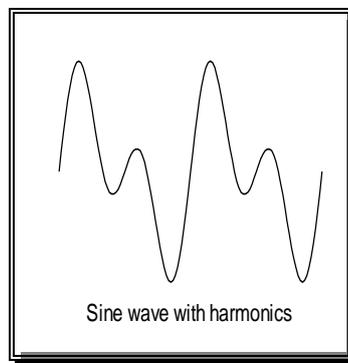


Рис. 2. Синусоида с гармониками

Большинство контроллеров измеряют сигнал акселерометра в амплитудных или в среднеквадратических значениях, которые преобразуются затем в амплитудные значения. Все это говорит о том, что выполнить точное управление трудно не только из-за реакции сервосистемы, но и из-за того, что сигнал коррекции ошибки имеет искажения.

Испытания синусоидальным сигналом

Одним из самых распространенных методов проведения испытаний является метод испытания синусоидальным сигналом. При этих испытаниях, как следует из названия, сигнал управления вибратором имеет форму синусоиды, частота которой изменяется по времени. Уровень или амплитуда сигнала может задаваться в виде ускорения, скорости или перемещения. Однако на практике обычно применяются акселерометры, которые вырабатывают выходной сигнал пропорциональный ускорению. Контроллер может преобразовывать сигнал акселерометра в скорость (интегрированием) или в перемещение (двойным интегрированием).

При испытаниях синусоидальным сигналом используются следующие единицы измерения:

Таблица 1.

Частота	Гц	или	рад/с	
Перемещение	мм			амплитуда или размах
Скорость	м/с			амплитуда
Ускорение	м/с ²	или	gn	амплитуда

Очень редко частота выражается в рад/с, часто вместо м/с пишут мс⁻¹, а вместо м/с² - мс⁻². Широко используется представление ускорения в виде гравитационной единицы – перегрузки, которая определяется как отношение ускорения к ускорению свободного падения: $g_n = A/g$, где $g = 9.81 \text{ м/с}^2$. Какие бы единицы не использовались, необходимо иметь в виду, что речь идет об амплитудных (пиковых) значениях или размахе (двойной амплитуде).

Существует однозначная математическая зависимость между частотой, перемещением, скоростью и ускорением для пиковых значений синусоидального сигнала. Если известны любые два параметра из четырех, другие два можно определить. Приведенные ниже формулы демонстрируют это.

Таблица 2.

$D = \frac{V}{\pi F}$	$= \frac{GA}{2\pi^2 F^2}$	$= \frac{2V^2}{GA}$
$V = \pi F D$	$= \frac{GA}{2\pi F}$	$= \sqrt{\frac{GAD}{2}}$

$A = \frac{2\pi^2 F^2 D}{G}$	$= \frac{2\pi FV}{G}$	$= \frac{2V^2}{GD}$
$F = \sqrt{\frac{GA}{2\pi^2 D}}$	$= \frac{V}{\pi D}$	$= \frac{GA}{2\pi V}$

Таблица 3.

Метрическая система	Система СИ
$D = \text{мм (размах)}$	$D = \text{мм (размах)}$
$V = \text{мм/с (ампл.)}$	$V = \text{мм/с (ампл.)}$
$A = \text{gn (ампл.)}$	$A = \text{мм/с}^2(\text{ампл.})$
$F = \text{Гц}$	$F = \text{Гц}$
$G = 9806.65 \text{ мм/с}^2$	$G = 1000 \text{ мм/с}^2$
$\pi = 3.141592654$	$\pi = 3.141592654$

На практике скорость обычно не измеряют, поэтому удобно пользоваться следующей формулой:

$$g \cdot n = D \cdot F^2 / 250 \quad (2)$$

где $g \cdot n$ – перегрузка (ед.), D – перемещение (мм), F – частота (Гц).

Подводя итог о проделанной работе следует отметить, что были рассмотрены основные принципы и правила реализации построения лабораторной установки ИВ5.

Установка лабораторная ИВ5 предназначена для проведения лабораторных работ по изучению технических средств, реализующих методы измерения вибрации объектов и обработки результатов измерений. Установка обеспечивает возможность создания и измерения амплитуды вибрации вибростол в заданном диапазоне частот и амплитуд. Установка выполнена в настольном исполнении в виде нескольких модулей: вибростенда и функционального генератора.

В качестве осциллографа выбран Zet 210 фирмы Zlab. Этот осциллограф поставляется с программной средой Zetlab, которая позволяет использовать его, не только в качестве осциллографа, но и вольтметра, измерять среднее, амплитудное значение напряжения.

Разработка устройства получения информации с вибростенда является актуальной, так как они используются практически в каждой отрасли промышленности, виброиспытаний, создании виброустойчивых образцов, изучения надёжности конструкций, а также на станциях обязательного техосмотра автомобилей. Следовательно, изучение вибрации и её воздействий является очень важной темой в приборостроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Игумнов С.Н. разработка автоматизированной системы поиска и генерации вибрационных устройств. // современные наукоемкие технологии . 2006. №4.
 Семенова Л.А., Лысенко Е.А., Лысенко К.Е. методика выбора универсальной вибрационной системы // Вестник СибГАУ . 2011. №2. С.136-140.
 ГОСТ 25051.4-83 Установки испытательные вибрационные электродинамические. Общие технические условия.
 ГОСТ 28203-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Fc и руководство: Вибрация (синусоидальная).

Сведения об авторах:

Бражанова Д.К.: магистрант, карагандинский государственный технический университет, dana_b.k@bk.ru, +77757526919.

Тусупбекова Г.М.: ассистент кафедры «Приборостроение», Карагандинский государственный технический университет, gulim_tus@mail.ru, +77074905114.

УДК 620.92

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ
СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ В СРЕДЕ MATLAB
(MODELLING AND PREDICTING OF POWER OF PHOTOVOLTAIC MODULE IN THE
MATLAB ENVIRONMENT)**

Динь Ван Тай
Dinh Van Tai

Томский политехнический университет
E-mail: dinhvantai88@gmail.com

Показана возможность построения математических моделей любого солнечного модуля при известных показателях. Установлено, что при изменении температуры и солнечной радиации, вольтамперная характеристика соответственно изменяется. Разработанная модель была использована для краткосрочного прогнозирования мощности солнечных модулей. Моделирование и имитация выполняются в среде Matlab.

(Mathematical model of photovoltaic module based on the data sheet parameters has been developed. A computer simulation program is developed to determine the electrical performances with respect to changes on environmental conditions (temperature and irradiance). This model has been used for short term prediction of power. The simulation results have been performed through Matlab/Simulink environment.)

Ключевые слова:

Моделирование солнечных модулей, прогнозирование вырабатываемой мощности, Simulink/Matlab, Guide.

(Modelling of photovoltaic module, power prediction, Simulink/Matlab, Guide.)

Использование солнечной энергии в электричество является одним из наиболее перспективных и активно развиваемых направлений возобновляемой энергетики. Солнечная энергия обладает практически безграничными ресурсами, при этом преобразование ее не приводит к загрязнению окружающей среды.

Главными недостатками солнечной энергии являются переменные характеристики и зависимости от климатических изменений. Целью исследования является создание модели солнечных батарей на базе доступных данных производителей с учетом комплексных воздействий, приводящих к изменению выходных характеристик батарей. Для построения модели необходимо было решить ряд задач:

- Возможность построения вольтамперной (ВАХ) и вольтваттной (ВВХ) характеристик в допустимом диапазоне рабочих температур;

- С помощью созданных модели сделано краткосрочное прогнозирование вырабатываемой мощности солнечных батарей.

Для облегчения дальнейшей работы приведены некоторые обозначения:

I_{sc} – Ток короткого замыкания;

V_{oc} – Напряжения холостого хода;

P_{max} – Максимальная мощность;

V_{mp} – Напряжение в точке P_{max};

I_{mp} – Ток в точке P_{max};

R_s – Последовательное сопротивление;

R_{sh} – Параллельное сопротивление;

n – Фактор идеальности вольтамперной характеристики диода;

E_g – Запрещенная зона;

K_i – Температурный коэффициент тока короткого замыкания;

T – Температура на поверхности батареи;

G – Солнечная радиация;

I_{ph} – Фототок;

I_d – Темновой ток (ток диода);

Обобщенная модель солнечной батареи

Обобщенная модель СЭ показана на рис. 1. Источник тока I_{ph} представляет собой фототок, зависящий от интенсивности излучения, диод D описывает ток, протекающий через неидеальный (с фактором идеальности n) p-n переход СЭ. В модель включены паразитные параметры структуры фотоэлемента - последовательное сопротивление R_s и параллельное сопротивление R_{sh} [1]:

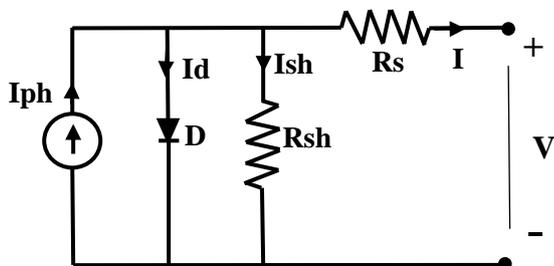


Рис. 1. Обобщенная модель СЭ

Модель солнечного элемента описывается следующими уравнениями [2]:

$$I = I_{ph} \cdot N_p - I_d - I_{sh}, \tag{1}$$

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \cdot (I_{ph,ref} + k_i \cdot \Delta T), \tag{2}$$

$$I_d = I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{(V + I \cdot R_s) \cdot q}{N_s \cdot A \cdot k \cdot T}\right) - 1 \right], \tag{3}$$

$$I_s = I_{rs} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \cdot \exp\left(\frac{E_g \cdot q}{n \cdot k} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right), \tag{4}$$

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{V_{oc} \cdot q}{k \cdot N \cdot T \cdot n} - 1\right)}, \tag{5}$$

$$I_{sh} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}, \tag{6}$$

Моделирование солнечного элемента в Matlab

Используем последовательно формулы (2) – (6) для расчетов необходимых токов на диоде и на сопротивлениях, получается промежуточные подсистемы. Потом с помощью формулы (1) суммируем чтобы получить конечную модель. Эти действия показаны на рисунках (2) – (5):

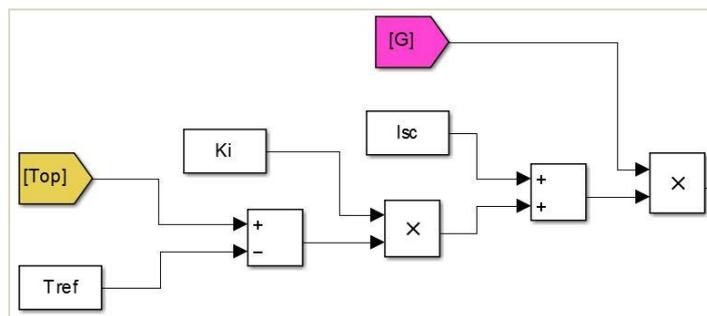


Рис. 2. Подсистемы для расчета I_{ph}

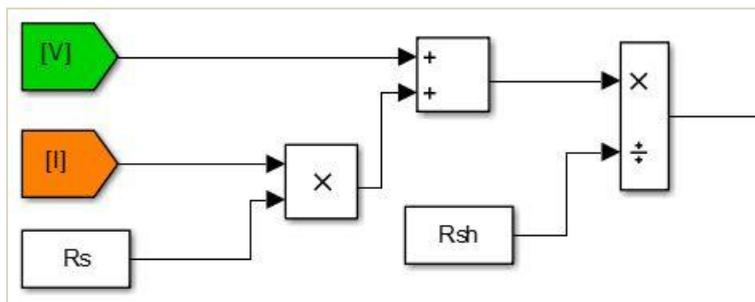


Рис. 3. Подсистемы для расчета I_{sh}

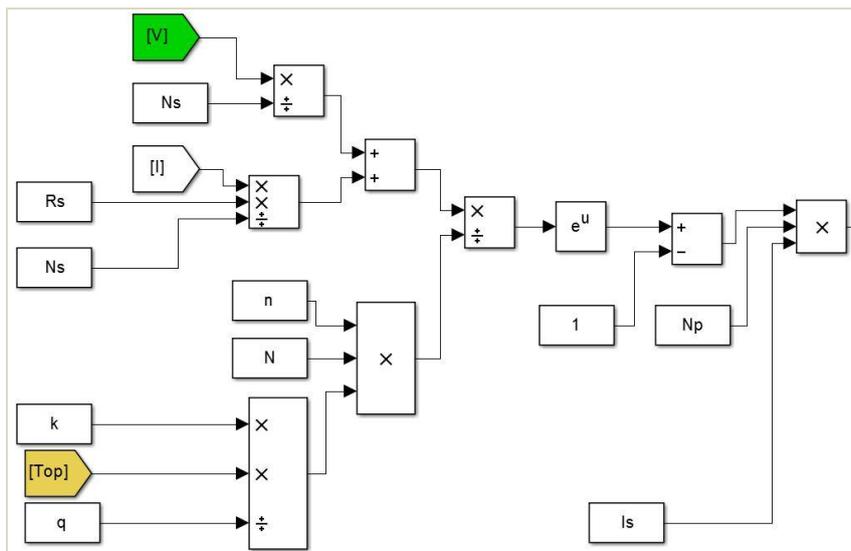


Рис. 4. Подсистемы для расчета I_{rs}

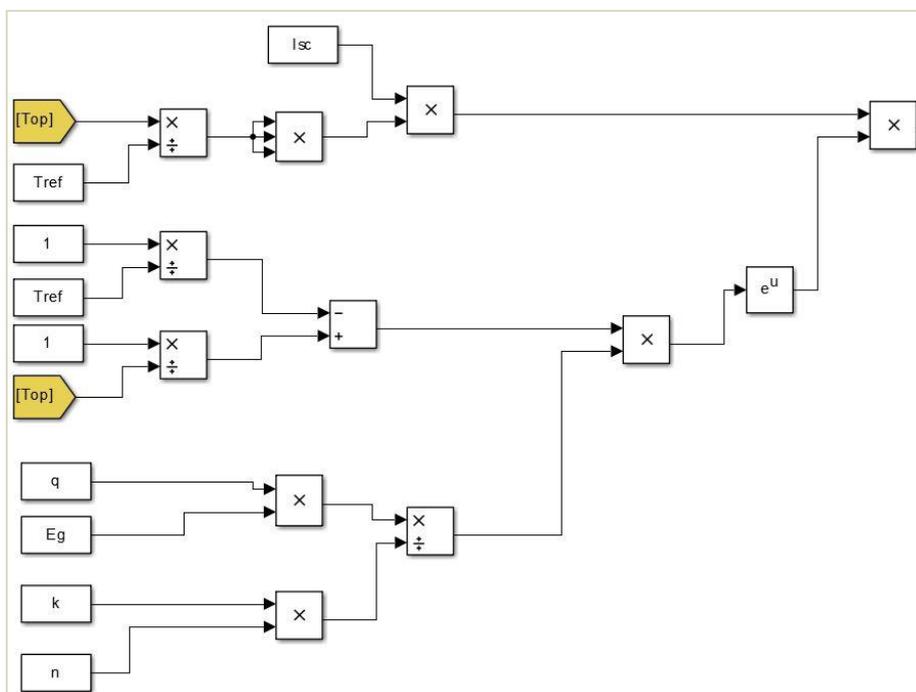


Рис. 5. Подсистемы для расчета I_s

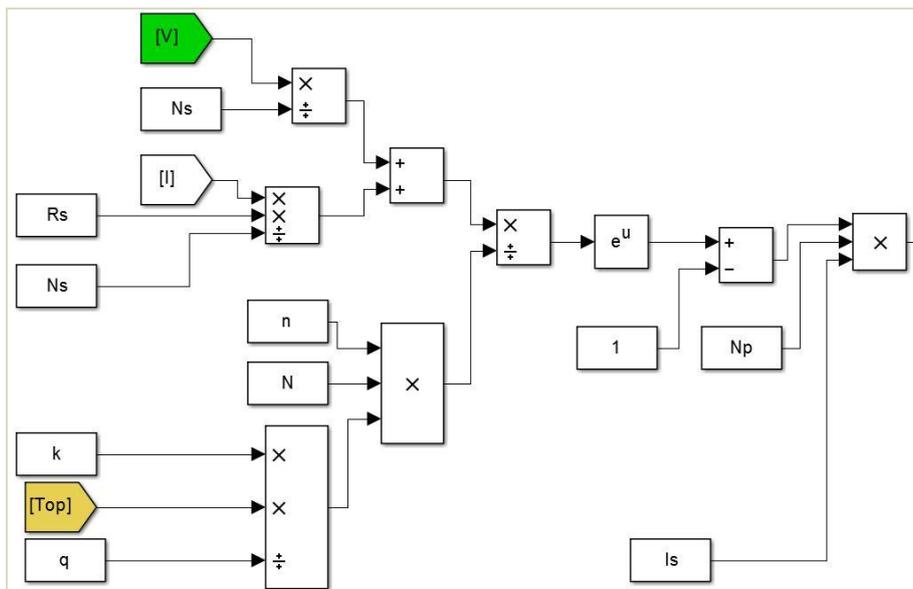


Рис. 6. Подсистемы для расчета I_d

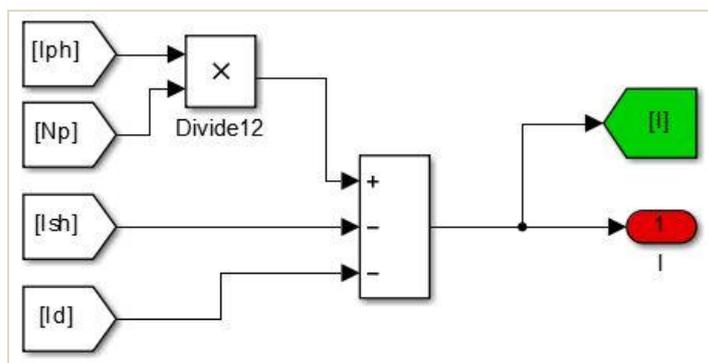


Рис. 7. Подсистемы для расчета I

Рабочая мощность солнечного элемента получается путем умножения I и V :

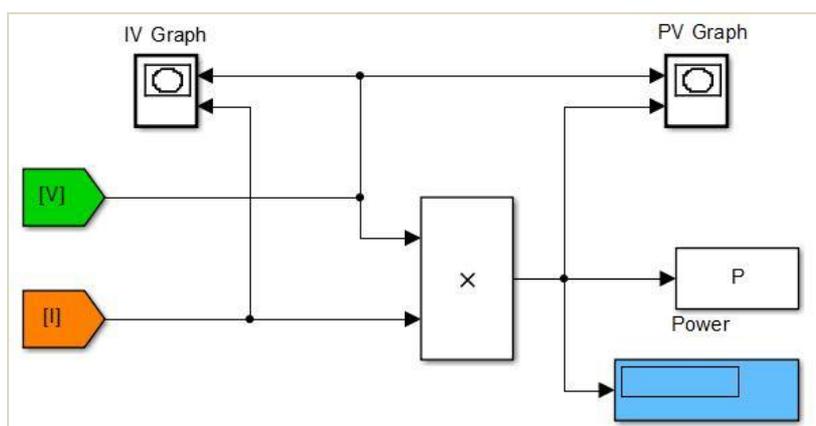


Рис. 8. Подсистемы для расчета мощности P

Для удобного пользования было разработано приложение в среде Matlab/Guide. Моделирование любого солнечного элемента осуществляется при помощи интерфейса (Рис. 9):

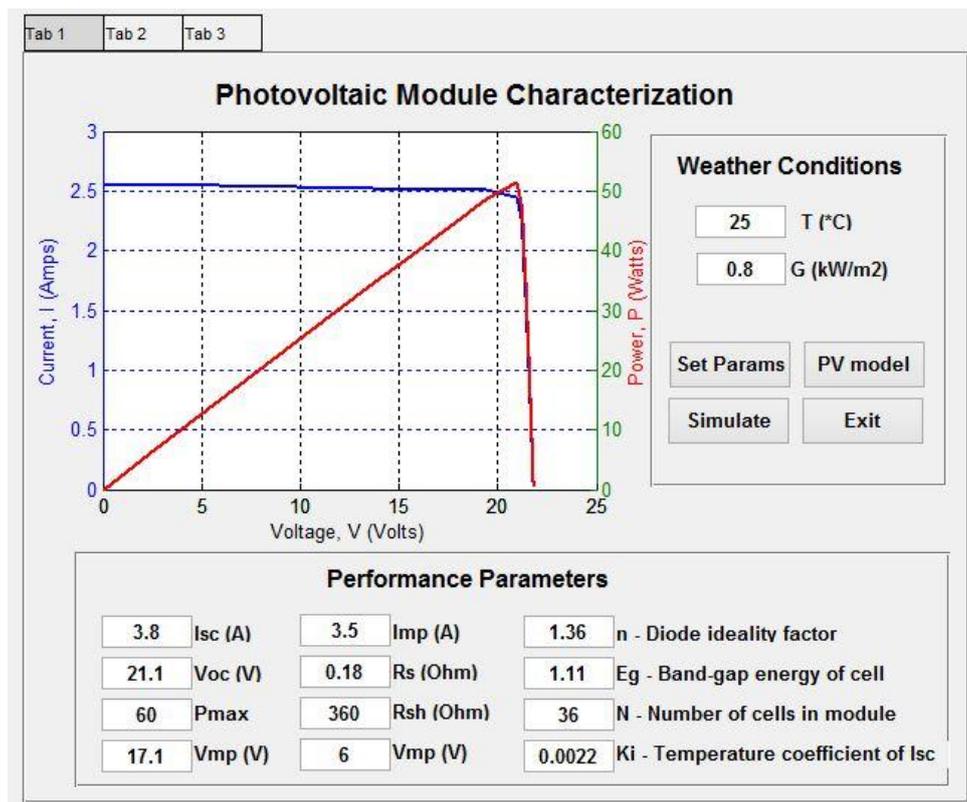


Рис. 9. Окно приложения

Обращение к элементам интерфейса окна приводит к соответствующим действиям. В данной работе пользователь должен выполнить по следующим порядкам:

1. Вводить основные параметры солнечного элемента, которые дается производителем в технической спецификации;
2. Задать температуру и солнечную радиацию;
3. Выполнять расчеты и анализировать полученные результаты.

Краткосрочное прогнозирование мощности солнечных модулей

Созданная модель позволяет построить вольтваттную характеристику солнечный элемент с учетом изменения температуры и солнечной радиации. Оттуда можем определять точку, в которой мощность достигается максимальному значению.

Однако, краткосрочные прогнозируемые значения температуры и солнечной радиации легко брать с сервера прогноза погоды. Следовательно, мы можем сделать прогноз вырабатываемой мощности солнечного элемента в любой момент или на некоторые интервалы суток впереди (Рис. 10):

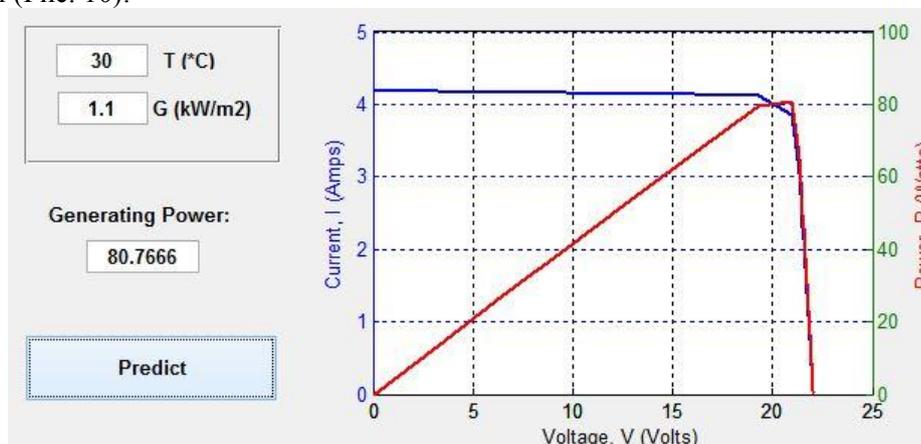


Рис. 10. Пример прогнозирование мощности солнечной модули

Заключение

Созданная модель солнечных модулей обладает свойствами адекватности, наглядности и позволяет описывать изменение характеристик солнечных модулей под действием множества значимых факторов с высокой точностью. В ходе работы над моделью был использован для краткосрочного прогнозирования мощности солнечных модулей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering / AntonioLuque. - Instituto de Energia Solar, Universidad Politecnica de Madrid, Spain. – 2003. – 1167 с.
2. Savita Nema, R.K. Nema, GayatriAgnihotri. MATLAB/Simulink based study of photovoltaic cells // International journal of Energy and Environment. – 2010. – vol.1. – No.3. – p.487-500.
3. Юрченко А.В., Козлов А.В, Охорзина А.В., Китаева М.В., Пургин А.П./ Система контроля работы фотоэлектрического модуля./ ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул). 2014. – С 79–83.

Сведения об авторе:

Динь Ван Тай: г. Томск, аспирант ИНК ТПУ; сфера научных интересов: моделирование, солнечная энергия, возобновляемая энергия, Beagle BoneBlack.

УДК 004.415.2.031.43

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СУХИХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ
(DEVELOPMENT AND RESEARCH OF DRY ELECTRODES FOR USE IN A PERSONAL ELECTROCARDIOGRAPHY)**

Е.А. Дудин
E. A. Dudin

Томский политехнический университет
E-mail: lurdz@mail.ru

Нарастающий интерес к потребительской медицинской электронике в течение последних лет стимулирует развитие портативных и компактных медицинских приборов индивидуального применения. Повсеместный физиологический мониторинг будет ключевой движущей силой в предстоящей революции исследования здоровья. Сердечные сигналы в виде ЭКГ являются важным показателем здоровья, которые непосредственно выгодно применять для долгосрочного мониторинга. Несмотря на достижения в медицинской технологии и электроники миниатюризации, использование персонального домашнего, портативного ЭКГ-мониторинга по-прежнему ограничено, из-за неудобства и дискомфорта влажных, контактных электродов. Это исследование фокусируется на развитии сухих электродов, которые не требуют влажного электрического контакта с кожей, как альтернатива для пациента.

(The growing interest for a consumer medical electronics during last few years leads to active development of a portable and compact medical devices for personal use. Ubiquitous physiological monitoring will be a key driving force in the coming revolution of Health Research. Heart ECG signals as an important indicator of health, which are directly beneficial to apply for long-term monitoring. Despite advances in medical technology and electronics miniaturization, the use of a personal home, a portable ECG monitoring is still limited because of the inconvenience and discomfort of wet, contact electrodes. This research focuses on the development dry electrodes which not require wet electrical contact with skin, as an alternative to the patient.)

Ключевые слова:

Биологический потенциал, сухой электрод, кожно-электродный интерфейс, электрокардиография.

(Biological potential, dry electrode, the electrode-skin interface, electrocardiography.)

Источником биоэлектрических сигналов является организм человека, и за частности, происходящие в нем процессы, которые имеют достаточно большое число параметров меняющихся с течением времени. Эти параметры могут относиться как ко всему организму в целом, так и преимущественно к определенным органам, системам организма или процессам.

Физиологические процессы в организме имеют электрическую природу и сопровождаются изменениями электрических потенциалов, токов, параметров. Медицинские приборы и системы не стоят на месте и постоянно улучшаться и совершенствуются. Это связано, с одной стороны, с развитием технологий в области электроники и вычислительной техники, а с другой – появлением новых медицинских технологий, совершенствованием существующих и с расширением сфер применения медицинской техники [1].

Биопотенциал (биоэлектрический потенциал) – энергетическая характеристика взаимодействия зарядов, находящихся в исследуемой живой ткани, например, в различных областях мозга, в клетках и других структурах.

Измеряется не абсолютный потенциал, а разность потенциалов между двумя точками ткани, отражающая её биоэлектрическую активность, характер метаболических процессов. Биопотенциал используют для получения информации о состоянии и функционировании различных органов.

Биопотенциальные записи в виде электрокардиограммы (ЭКГ) являются незаменимыми и жизненно важными инструментами для медицинского и научно-исследовательского использования. Эти хорошо зарекомендовавшая себя форма сигнала, обеспечивает богатство физиологической информации, которая в силу современных технологий медико-биологической

аппаратуры, может быть использована неинвазивно и недорого для развивающихся глобальных медицинских приложений клинического физиологического мониторинга и лечения [2, 3].

Традиционно, Ag/AgCl электроды с мокрыми проводящими гелями используются для биопотенциальных записей. Стандарт Ag/AgCl электрод был хорошо охарактеризован и изучен в течение многих десятилетий [4, 5, 6]. Большинство его свойств хорошо изучены [7], и существует, достаточном эмпирические данные его характеристик, например, низкочастотного шума и дрейфа [5]. Тем не менее, применение с надлежащей подготовкой, можно получить отличный сигнал.

Основные принципы, лежащие в гелиевых электродах, также хорошо известны. Несмотря на десятилетия исследований в области альтернативной технологии датчика биопотенциалов [8, 9, 10, 11] для ЭКГ, стандартный мокрый Ag/AgCl электрод еще почти повсеместно используется для клинических и научно-исследовательских приложений. Каждый год миллиарды одноразовые клеевых ЭКГ электродов клинических производятся, в то время как сухие электроды ограничены нишей немедицинского / научным такие приложения, как фитнес мониторинга и игрушки.

Полезность и эффективность сухих электродов могут быть разделены на две категории. Первый относится к качеству сигнала устройства с точки зрения шума и чувствительности к движению пациента. Во-вторых, потому что электродный интерфейс к коже, либо в контакте или в непосредственной близости к телу, специфичным электрода должны также быть оценены для удобства и полезности на системном уровне. Эта статья направлена на то, чтобы критически рассмотреть последние события в сухих и бесконтактных электродах, учитывая оба этих соображений. Одним из главных преимуществ стандартной клинической влажной электрода является то, что он очень хорошо прилипает к коже. В то время это проблематично для пациента с точки зрения комфорта в долгосрочной перспективе использования, влажные электроды остаются фиксирован к специфичным, клинико-стандартным местам на теле. Сухие электроды решают вопросы комфорта с клейким, мокрым электродом, но гораздо труднее защитить от помех исходящих от пациента. Таким образом, для этих технологий, чтобы быть клинически полезными, механические решения должны быть разработаны, чтобы разместить электроды в правильном положении (например, 12-канальной ЭКГ) или альтернативного применения в персональной электрокардиографии.

Понятие «электрод» коренится в исследовании электрохимических ячеек, где электрический транспорт является регулируемым окислительных и восстановительных реакций, происходящих на границе между металлом и электролитом. Обычный мокрый контактный электрод соответствует этому определению, поскольку металл проводника электрода погружен в ванну электролита геля или раствора, что буферизует электролитической композиции через внешних и внутренних слоев кожи. Поэтому мокрого контакта электрода хорошо характеризуется половина клеток потенциала, в емкости двойного слоя, и параллельных и последовательных сопротивлений, как показано на рис. 1. Для сухого электрода, однако, интерфейс контакта является более сложным и другие процессы ввода электрических взаимодействий в кожно-электродной связи.

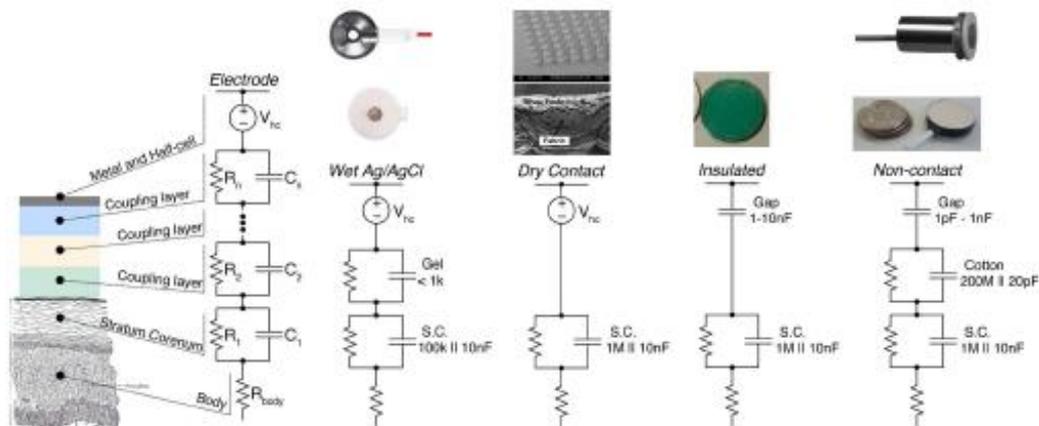


Рис.1. Электрическая связь кожно-электродного интерфейса для различных топологий электродов

В общем, соединение между кожей и электродом может быть описана как слоистая проводящая и емкостная структура, с комбинациями серии параллельных элементов RC. Тип электрода и связью кожей результате в нескольких таких структур, как показано на рис.1, с различными значениями проводимости и емкости. Для каждого из этих типов электродов, как правило, одна из секций RC доминирует и электрическое соединение может быть представлена в виде одного элемента с проводимостью g с параллельно с емкостью C_s , или упрощены связью приема $Y_c(j\omega) = gc + j\omega C_s$.

Важно понимать, что проводимость и емкость важны для характеристики производительности электрода. В результате будет показано, что обычное понятие, низкое сопротивление (проводимость высокая) имеет важное значение для хорошей производительности электрода может ввести в заблуждение, и что максимизация сопротивление (проводимость минимальная) в связи электрод-кожа на самом деле полезно в некоторых важных предельных случаях. Это нетрадиционный и, казалось бы, противоречивый интуиции ход наблюдения, происходит от простой теории цепей, который проверяется с экспериментальными данными, которые находятся в литературе по электродным интерфейсам. Таким образом, надеемся исправить недоразумения в связи проводимости на производительность шума и чувствительности, чтобы получать более правильные и обоснованные решения в дизайне кожно-электродного соединения среды.

Чтобы точно смоделировать эффект проводимости кожно-электродной связи $Y_c(j\omega)$ на качество и надежность принятого сигнала, необходимо учитывать электрическое соединение между кожей и усилителем, который соединен с электродом, чтобы получать сигнал. Общая структура, активно экранированного усилителя, показана на рис.2, выбранная для его относительной устойчивости к помехам от других источников и шума в линии [3]. Эта топология соответствует многим из опубликованных схем усилителей для сухих контактных электродов, например, [12, 13, 14]. Особенно простой маломощный и компактный реализация, которая используется в экспериментальных данных, представленных в этом обзоре, показано на рис.2. Активный экран защищает вход высокого сопротивления от помех со стороны других источников, и предполагает емкостную связь между источником и выходом усилителя.

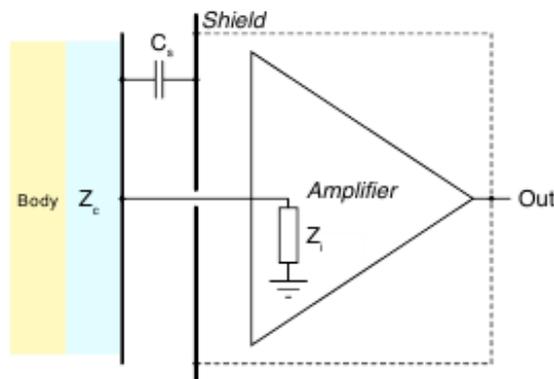


Рис.2. Упрощенная структурная схема активно-экранированного усилителя биопотенциалов [12]

Мы определяем следующие электрические сигналы и параметры со ссылкой на структуру печатной на рис.2 и его шума модели на рис.3:

- $v_s(j\omega)$: источник сигнала на поверхности кожи;
- $v_o(j\omega)$: сигнал, записанный на входе усилителя;
- $v_{i,n}(j\omega)$: входной шум усилителя;
- $i_{i,n}(j\omega)$: сетевой электрический шум на входе усилителя;
- $Y_c(j\omega)$: $g_c + j\omega C_s$, проводимось кожно-электродной связи;
- $Y_i(j\omega)$: $g_i + j\omega C_i$, входная проводимость усилителя;
- C_s : активная емкость электрода;
- A_v : коэффициент усиления по напряжению.

В результате получили выходной сигнал v_o можно записать в виде:

$$v_o = G(j\omega)(v_s + v_{s,n})$$

с коэффициентом усиления по напряжению сигнала от источника до выхода:

$$G(j\omega) = A_v \frac{Y_c(j\omega)}{Y_c(j\omega) + Y_i(j\omega) + j\omega(1 - A_v)C_s} = A_v \frac{g_c + j\omega C_c}{g_c + g_i + j\omega(C_c + C_i + (1 - A_v)C_s)}$$

и источник напряжения шума, приведенного к входу:

$$v_{s,n} = \frac{Y_c(j\omega) + Y_i(j\omega) + j\omega C_s}{Y_c(j\omega)} v_{i,n} \frac{i_{i,n}}{Y_c(j\omega)} = \frac{g_c + g_i + j\omega(C_c + C_i + C_s)}{g_c + j\omega C_c} v_{i,n} + \frac{i_{i,n}}{g_c + j\omega C_c}$$

Эти выражения дают количественную характеристику для анализа шумовых характеристик, а также движения и трения чувствительности различных электродных структур в плане физических и электрических параметров схемы.

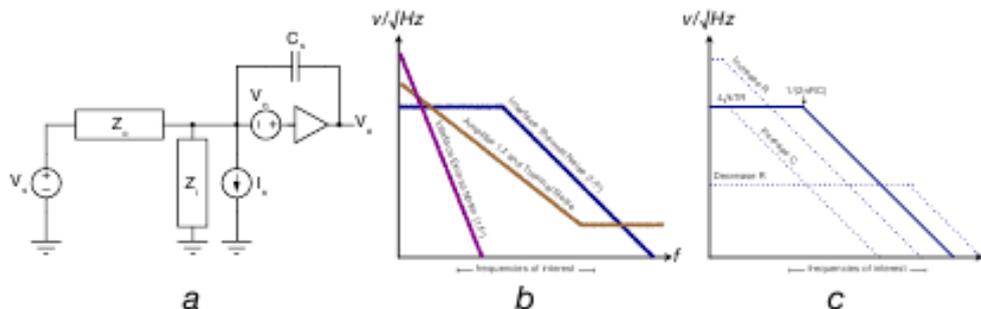


Рис.3 Модель усилителя сухого контакта вместе (а) с упрощенным участком частотного поведения различных источников шума (б). Для каждого слоя RC, вклад шума в полосу может быть уменьшен либо резко увеличен к бесконечности, увеличивая емкость или уменьшения сопротивления к нулю (с).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Estes N.A. 3rd. Predicting and preventing suddencardiacdeath // Circulation. – 2011. – Vol. 124, № 5. – P. 651 – 656.
2. Xiao-FeiTeng, Yuan-Ting Zhang, C.C.Y. Poon, and P. Bonato. Wearable medicalsystems for p-health. Biomedical Engineering, IEEE Reviews in, 1:62 –74, 2008.
3. A. Lymberis. Smart wearable systems for personalised health management: current d and future challenges. In Engineering in Medicine and Biology Society, 2003.Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, volume 4,pages 3716 – 3719 Vol.4, 17-21 2003.
4. A Searle and L Kirkup. A direct comparison of wet, dry and insulating bioelectricrecording electrodes. Physiological Measurement, 21(2):271, 2000.
5. E. Huigen, A. Peper, and C. A. Grimbergen. Investigation into the origin of thenoise of surface electrodes. MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING AND COMPUTING, 40(3):332–338, 2002.
6. M. Spach, R. Barr, J. Havstad, and E. Long. Skin-electrode impedance and itseffect on recording cardiac potentials. Circulation, 34:649–656, 1966.
7. A. Baba and M.J. Burke. Measurement of the electrical properties of ungelleddecg electrodes. International Journal of Biology and Biomedical Engineering,2(3):89–97, 2008.
8. J.D. Bourland, L.A. Geddes, G. Sewell, R. Baker, and J. Kruer. Active cablesfor use with dry electrodes for electrocardiography. Journal of Electrocardiology,11(1):71 – 74, 1978.
9. Alfredo Lopez and Philip C. Richardson. Capacitive electrocardiographic andbioelectric electrodes. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, BME-16(1):99 –99, jan. 1969.
10. Babak A. Taheri, Robert T. Knight, and Rosemary L. Smith. A dry electrode foreeg recording. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 90(5):376– 383, 1994.
11. Tadayuki Matsuo, Kazuhiro Inuma, and Masayoshi Esashi. A barium-titanate-ceramics capacitive-type eeg electrode. Biomedical Engineering, IEEE Transac-tions on, BME-20(4):299 –300, july 1973.
12. C J Harland, T D Clark, and R J Prance. Electric potential probes - new directionsin the remote sensing of the human body. Measurement Science and Technology,13(2):163, 2002.
13. T.J. Sullivan, S.R. Deiss, and G. Cauwenberghs. A low-noise, non-contact eeg/ecgsensor. In Biomedical Circuits and Systems Conference, 2007.BIOCAS 2007.IEEE, pages 154 –157, 27-

30 2007.

14. R. Matthews, N.J. McDonald, P. Hervieux, P.J. Turner, and M.A. Steindorf. A wearable physiological sensor suite for unobtrusive monitoring of physiological and cognitive state. In Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS2007. 29th Annual International Conference of the IEEE, pages 5276 –5281, 22-26, 2007.

Сведения об авторе:

Дудин Е.А.: г.Томск, Томский политехнический университет, магистрант ИНКИИТ, сфера научных интересов: информационные системы, разработкой печатных плат и анализ данных. E-mail: lurdz@mail.ru.

УДК 67.05

**ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ
НА ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ
(CHOOSING SOFTWARE TO WORK ON CNC MILLING MACHINES)**

Г.М. Ералинова, А.Е. Слямова
G. Yeralinova, A.Slyamova

Карагандинский государственный технический университет
E-mail: gulmira_9292@mail.ru

Были рассмотрены типы программных обеспечений для работы на фрезерном станке с ЧПУ. Были рассмотрены три типа программного обеспечения. Данный анализ позволит выбрать программное обеспечение, которое улучшит точность обработки изделий.

(We were considered types of software to work on CNC milling machines. We were examined three types of software. This analysis allows you to choose the software that will improve the accuracy of processing products.)

Ключевые слова:

Программное обеспечение, фрезерный станок с ЧПУ, G,M- коды.
(CNC milling machine, G, M- codes.)

Фрезерное оборудование с числовым программным управлением обладает высоким быстродействием, обеспечивает отличное качество и точность обработки изделий и легко поддаётся переналадке на выпуск изделий другого вида. Все эти качества невозможно воплотить без использования микропроцессорной системы ЧПУ. Как и обычный персональный компьютер, система ЧПУ фрезерного станка содержит процессор (контроллер ЧПУ), оперативную память и интерфейс подключения внешних устройств.

Создание управляющей программы для обработки конкретного типа изделий заключается в построении маршрута движения фрезы на базе цифрового эскиза (математической модели) готовой детали (изделия). Затем файл управляющей программы может быть загружен в память ЧПУ фрезерного станка. После команды на запуск фрезерный станок может в автоматическом режиме выполнять обработку.

Совершенно очевидно, что создание управляющей программы, её загрузка на станок, а также управление самим станком (в том числе в ручном режиме) требует специализированного программного обеспечения. От правильного выбора компонентов ПО во многом зависит качество, простота и оперативность подготовки производственного процесса, а, следовательно, интенсивность производства и конечная прибыль предприятия.

Наименование программных продуктов и их набор неотделим от технологической последовательности обработки и аппаратного принципа взаимодействия персонального компьютера и фрезерного станка с ЧПУ. Как правило, все современные модели фрезерных станков допускают подключение ПК для совместной работы и управления станком. Исключением являются лишь «старшие» модели фрезерных станков для профессиональной промышленной эксплуатации, а также обрабатывающие центры с ЧПУ – в их конструкции предусмотрена так называемая «стойка ЧПУ», предоставляющая доступ ко всем функциям станочного комплекса и полностью заменяющая управляющий ПК.

Те же станки, что работают «в связке» с ПК, изначально оснащены интерфейсом подключения компьютера. Это может быть либо USB-порт, либо специальная плата, требующая установки внутрь силового шкафа фрезерного станка и кабельного соединения с PCI-картой, устанавливаемой внутрь персонального компьютера. Так или иначе, компьютер и фрезерный станок оказываются связаны. И чтобы получить доступ к функциям фрезерного станка и управлять его органами с помощью ПК, необходима соответствующая программная оболочка.

Рассмотрим несколько видов программного обеспечения для работы со станками с ЧПУ.

Программы управления станком ЧПУ делятся на 3 части: программа для создания изображения или 3d модели фрезеруемой детали, программа для конвертации данного изображения или 3d модели в G-код и M-код, программа исполнения G, M-кодов. G – код это код управления положением режущего инструмента, в данном случае шпинделя, а M-код это код управления режимом работы станка в данном случае, включением, отключением шпинделя установкой числа оборотов.

В качестве программы для создания векторного изображения и преобразования его в G,M-коды, для работы фрезерного станка на кафедре «Приборостроения» используется программа Inscare с плагином GcodeTools, данная программа предоставляется по лицензии GNU GPL она абсолютна бесплатна для коммерческого или не коммерческого использования, что и послужило основой моего выбора данного программного обеспечения. Данное программное обеспечение имеет следующие возможности:

- 1)Gcodetoolscnc обработка площади
- 2)Экспорт в Gcode
- 3)Экспорт кривых в Gcode
- 4)Gcodetools гравировка от Rene
- 5)Автоматическое разбиение кривых для достижения заданной степени точности
- 6)Аппроксимация с использованием круговой интерполяции (G02 и G03)
- 7)Экспорт Gкода в параметрической или обычной формах
- 8)Обработка со сменой инструментов
- 9)Добавление собственных заголовков и окончаний
- 10)Многопроходная обработка
- 11)Выбор единиц измерения
- 12)Обработка на токарном станке
- 13)Автоматическое добавление цифрового суффикса к названию сохраняемого файла
- 14)Расчет чистового прохода
- 15)Создание траекторий для обработки детали на токарном станке
- 16)Задание количества чистовых проходов
- 17)Задание заглабления при чистовом проходе
- 18)Замена стандартных осей
- 19)Два различных метода вычисления чистовых проходов
- 20)Создание траекторий для обработки площади контуров
- 21)Создание траекторий для обработки контуров фигурной фрезой
- 22)Здание различных параметров инструмента и обработки (диаметр инструмента, скорость обработки, заглабление за проход, скорость заглабления, задание произвольного кода перед/после заглабления, форма инструмента, произвольный код смены инструмента)
- 23)Библиотека инструментов

В качестве программного обеспечения для выполнения G,M кодов используется MACH3.

Данное программное обеспечения является наилучшим программным обеспечением под Windows для интеграции с ЧПУ, без использования специальных плат от производителей программы для управления ЧПУ. Данная программа, полностью поддерживает все функции заложенные в ЧПУ станке при разработке принципиальных схем, а именно: при остановка станка при срабатывании концевого выключателя, управления шаговыми двигателями через STEP_DIR_ENABLE выходы, задания максимальной скорости и ускорения двигателей, возможность подавать сигнал ШИМ на управляющую плату.

Также для управления функциями фрезерного станка с персонального компьютера часто используется аппаратно-программный комплекс NS Studio. Аппаратная часть этого продукта включает две микросхемные платы, для кабельного соединения ПК и фрезерного станка (как описано выше). Программная оболочка представляет собой стандартное Windows-приложение, имеющее наглядный интерфейс для доступа, управления и настройки всех функций фрезерного оборудования.

С помощью NS Studio можно осуществлять ручное или автоматическое перемещение инструментального портала и шпинделя, задавать режимы обработки (частоту вращения шпинделя и подачу инструмента), настраивать скорость перемещения и ускорение инструментального портала вдоль отдельных осей и т.д. Программа также позволяет загружать

управляющие файлы и запускать обработку заготовок по ним. Однако для создания управляющих файлов потребуется дополнительный набор из нескольких программных продуктов.

Прежде чем выбрать необходимые программные продукты для создания и обработки управляющих программ, необходимо рассмотреть последовательность работы на фрезерном станке с ЧПУ. В отличие от прежних моделей фрезерных станков, ручное управление непосредственно в процессе фрезерования для оборудования с ЧПУ совершенно не требуется. Однако при этом на первый план выдвигается процесс подготовки производства, заключающийся в создании управляющей программы (содержащей маршрут, режимы обработки и т.п.).

Порядок создания управляющей программы следующий:

- подготовка электронной версии эскиза детали (в случае необходимости – оцифровка 2D-чертежей или графических иллюстраций);
- создание трехмерной модели на базе «плоского» эскиза детали;
- построение траектории движения фрезы, согласно 3D-модели детали;
- выбор черновых и чистовых переходов, указание режима обработки и типа режущего инструмента, ограничение зоны обработки (и областей припуска) и т.д.;
- экспорт созданной управляющей программы и сохранение файлов в формате, «понятном» для конкретной модели фрезерного станка.

Соответственно, почти каждый этап работы с будущей управляющей программой требует специального ПО.

Для работы с плоскими эскизами можно воспользоваться любыми графическими (CorelDraw, Photoshop) или чертёжными (AutoCAD, Компас-график) программными пакетами.

Для создания 3D-моделей можно использовать программы 3ds Max, САПР-пакеты (Solidworks, AutoCAD, Компас) или подобные продукты. Траектория движения фрезы строится в программах AtrCAM или Type3 (последняя также имеет прямой вывод на станок и предоставляет доступ к его функциям, аналогично NS Studio).

Эти же программы позволяют сохранить результаты работы в формате, воспринимаемом конкретным типом фрезерного станка. Для этого существуют специальные утилиты – постпроцессоры. При экспорте управляющей программы следует выбрать из библиотеки постпроцессоров наименование, соответствующее типу имеющегося в распоряжении оборудования.

Финальным этапом подготовки является загрузка созданных файлов управляющих программ на станок, фиксация заготовки на рабочем столе, установка режущего инструмента, соответствующего типа (для первого этапа обработки) и запуск фрезерного станка. Если всё сделано верно, обработка будет происходить автоматически.

Для снижения вероятности появления брака, при разработке маршрута движения фрезы (в программе) рекомендуется воспользоваться утилитой «симуляция обработки». Данная утилита проведёт «виртуальное фрезерование» и отобразит на экране результат процесса. Это позволит выявить ошибки и тут же внести необходимые изменения в управляющую программу. Симуляция обработки также определит длительность процесса фрезерования и даст информацию о возможной необходимости оптимизировать траекторию движения инструмента для сокращения операционного времени и повышения темпов обработки.

ArtCAM представляет собой специализированный программный пакет для создания пространственных моделей и подготовке заданий для их воплощения при механической обработке заготовок на станках с ЧПУ.

ArtCAM содержит набор инструментов, предназначенных как для работы с изображениями (импорт 2D-рисунков, их обработка и исправление, построение 3D-моделей, создание рельефов, мощные средства визуализации и т.п.), так и для подготовки к механической обработке (построение шаблонов для черновой и чистовой обработки, расчёт движения инструмента, оптимизация процесса фрезерования для сокращения расхода материала, визуализация обработки для оценки и исправления готового результата ещё до начала фрезерования, обширная база данных с характеристиками режущего инструмента и моделями фрезерных станков и т.д.).

ArtCAM поставляется в виде пакетов, отличающихся своими возможностями. Обычно даже базовая версия содержит набор программных инструментов для профессиональной обработки изображений, создания на их базе пространственных моделей и импорта в файлы, «понятного» для управляющей программы фрезерного станка формата.

- Инструменты для обработки растровых и векторных изображений, создания текстовых надписей и двухмерных эскизов;
- Средства для расчёта экономичного и оптимального раскроя заготовок;
- Алгоритмы расчёта оптимальных маршрутов фрезы (в частности при черновой обработке – возможность разбивки этапа на отдельные циклы с использованием разных фрез для сокращения времени цикла);
- Мастер автоматического создания дизайнерских вставок, накладок;
- Средства фигурного обвода кромок – для создания объёмных текстовых надписей;
- Средства «экспресс гравировки» для оперативного создания уникальных изображений;
- AutomaticToolpathPanelling – технологию оптимизации (разбиения) маршрута движения фрезы для обработки массивных изделий с автоматической подстройкой к размерам станка (рабочего стола);
- Мощные средства визуализации и моделирования обработки – для оценки результата ещё до начала реального процесса;
- Генератор статистики – получение данные о времени каждого этапа для оценки и планирования процесса производства;
- Дружественный интерфейс и понятный алгоритм работы с программой.

Независимо от вида готового изделия и типа фрезерного станка, принципиальная стратегия использования программы ArtCAM заключается в следующем.

1. На основании исходного изображения (например, векторного рисунка, фотографии или простого наброска), создаётся рабочий эскиз. При этом ArtCAM позволяет работать как с готовыми импортированными изображениями (из графических форматов – bmp, jpeg, tif, gif, или «чертёжных» файлов – dwg, dxf, eps), так и встроенными средствами создавать эскизы с нуля.

2. Плоский рабочий эскиз преобразуется в 3D-модель. Специальный инструмент ArtCAMJewelSmith помогает в создании сложных «глубоких» объектов (таких как художественные барельефы) с помощью «интерактивного скульптора». Обширная база данных программы содержит множество необходимых текстур, узоров и т.п. для создания неповторимых дизайнерских моделей. Можно также воспользоваться готовой 3D-моделью и импортировать её в ArtCAM (тогда необходимость в шаге 1, описанном выше, отпадает).

3. На основе подготовленной модели специальный мастер производит расчёт траектории движения фрезы. Используя свою базу данных, ArtCAM способен предложить оптимальный вариант черновых и чистовых проходов в зависимости от вида изделия, типа станка (в том числе наличия поворотного устройства) и применяющегося режущего инструмента.

4. Создание прототипа заключается в экспорте файла в формате STL, который в дальнейшем может быть использован для генерации управляющих кодов непосредственно при загрузке в память контроллера фрезерного станка.

Кроме этого, программа ArtCAM позволяет рассчитать параметры (массу, объём) будущего готового изделия с учётом припусков на черновую и чистовую обработку.

Специальный компонент ArtCAM может синтезировать реалистичное фотоизображение будущего изделия – для демонстрации особенностей, создания презентаций или каталога продукции. Точная визуализация позволит оценить модель и внести изменения в проект ещё до этапа фактического производства – и без необходимости изготавливать черновые пробные экземпляры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров М.А., Суходолов А.П. Общие сведения о машиностроении и металлообработке. М: Том 2, Москва, 1999. -358с.
2. Выбираем драйвер шагового двигателя.//<http://darxton.ru/articles/cnc-diy/vybirajem-draiver-shagovogo-dvigatelya.htm> (дата обращения: 15.04.2015.)

3. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник для вузов. М: Инфра-М, 2005. - 559с.
4. Тупик В. А. Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. М: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001.-340с.
5. Гурьянихин В.Ф., Булыгина М.Н. Автоматизированная подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ М: Ульяновск, УлГТУ, 2001.-88с.
6. Маслова В.А. Инструментальная оснастка станок с ЧПУ. М: Машиностроение, 2006.- 544с.

Сведения об авторах:

Ералинова Г. М.: магистрант, Карагандинский государственный технический университет, gulmira_9292@mail.ru, +77023813486, метрологические характеристики двухкоординатного станка;

Слямова А. Е.: магистрант, Карагандинский государственный технический университет, slyamova.aigerim@gmail.com, +7715270533.

УДК 621.317.79

**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ
(MEASURING THE THICKNESS OF COATINGS ON FERROMAGNETIC MATERIALS)**

Е.С. Жевтун, Е.И. Уразбеков
E.S. Zhevtun, E.I. Urazbekov

Томский политехнический университет
E-mail: aity579@qip.ru

Толщинометры являются достаточно распространенными средствами проведения неразрушающего контроля, нашедшими широкое применение во многих областях промышленности РФ. Цель данной работы заключается в определении оптимального метода измерения толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных материалах. В статье рассмотрены самые распространенные методы измерения толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных материалах. Рассматривая достоинства и недостатки принципа работы каждого метода, можно сделать вывод, что магнитный метод контроля наиболее оптимальный для измерения толщины лакокрасочного покрытия на ферромагнитных материалах.

(Thickness gages is a common means of non-destructive testing, which are widely used in many areas of the industry of the Russian Federation. The purpose of this work is to determine the optimal method of controlling thickness measurement of coatings on ferromagnetic materials. The article describes the most common methods for measuring the thickness of coatings on ferromagnetic materials. Upon consideration of advantages, disadvantages, and the principle of operation of each method, it can be concluded that the eddy current inspection method most suitable for measuring the thickness of paint coating on ferromagnetic materials.)

Ключевые слова:

Толщинометрия, толщиномер, лакокрасочное покрытие, ферромагнитные материалы, ультразвуковой метод, магнитный метод, вихретоковый метод, метод мокрого слоя, радиационный метод.

(Measuring of thickness, feeler gauge, paintwork, ferromagnetic materials, ultrasonic method, magnetic method, eddy current method, method of wet layer, radiation method)

Во многих случаях самая распространенная причина разрушения ферромагнитных материалов является их электрохимическое или химическое взаимодействия с коррозионной средой. То есть, долговечность изделия зависит от ее коррозионной стойкости, поэтому для защиты от коррозии применяются металлические и неметаллические покрытия. Лакокрасочные материалы, являются неметаллическими антикоррозийными покрытиями. Они представляют собой пленку, которая нанесена на поверхность. Лакокрасочные материалы самые распространенные антикоррозийные покрытия. Так как они имеют малый расход на единицу площади, могут защитить любые конструкции, также данный вид является дешевым по сравнению с остальными видами антикоррозийными покрытиями. Но слишком большая толщина лакокрасочного покрытия приводит к увеличению расхода краски, а при малой толщине, покрытие не обеспечивает достаточную защиту. Поэтому возникает проблема измерения толщины защитного покрытия. Толщиномер- это измерительный прибор, позволяющий с высокой точностью измерить толщину материала или слоя покрытия материала (такого как краска, лак, грунт, шпатлёвка, ржавчина, толщину основной стенки металла, пластмасс, стекла, а также других неметаллических соединений, покрывающих металл) [1]. Современные толщинометры позволяют осуществить измерение толщины без нарушения целостности покрытия.

Целью данной работы является определение оптимального метода измерения толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных материалах. Толщинометры являются достаточно распространенными средствами проведения неразрушающего контроля, нашедшими широкое применение во многих областях промышленности РФ. В качестве примера можно привести

автомобильную промышленность, судостроительную, судоремонтную, а также машиностроение. Толщинометры активно используются при проведении ремонтных работ и контроле качества нанесенных покрытий. Наверно, именно с этим можно связать тот факт, что толщинометры просто незаменимы в работе многих специалистов. В частности, оценщиков, полировщиков, страховщиков.

Самыми распространенными методами измерения толщины покрытия являются :

- Ультразвуковой;
- Магнитный;
- Вихретоковый;
- Радиационный;
- Мокрого слоя.

Ультразвуковая толщинометрия является акустическим методом контроля. Диапазон частот для данного вида толщинометрии и дефектоскопии составляет от 20 кГц до 100 кГц.

Толщина покрытия контролируемого изделия определяется по времени, за которое ультразвуковая волна проходит до границы сред с разными упругими свойствами.

Ультразвуковой толщиномер основан на том, что датчик прибора посылает импульс на контролируемую поверхность, далее он проходит через это покрытие и отражается от границы сред. Потом отраженный сигнал преобразуется датчиком в электрический. После чего можно сказать о толщине лакокрасочного покрытия изделия.

Преимущества ультразвукового метода:

- метод является неразрушающим;
- подходит для большинства типов покрытий материалов;
- имеет большой диапазон измерения;
- возможность проведения измерений при наличии одностороннего доступа;
- обладает малым временем измерения;
- обладает высокой точностью и надежностью измерения;
- универсальность (все стандартные конструкционные материалы, могут быть измерены с соответствующими установками, в том числе металлы, пластмассы, композиты, стекловолокна, керамика и резина).

Также в ультразвуковом методе есть и недостатки:

- для точности измерения необходимо равномерно прижимать датчик к объекту контроля;
- при неровной и непараллельной поверхности изделия и при структурной неоднородности металла затрудняется процесс измерения;
- данные толщинометры дорогостоящие;
- трудность выделения сигнала на фоне шумовых помех;
- необходимость применения контактной жидкости.

Магнитный метод основан на зависимости параметров магнитного поля от толщины немагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях. Различают 3 вида магнитных преобразователей: пондеромоторный, индукционный и магнитостатический.

Пондеромоторный контроль является оперативным методом. Он основан на зависимости силы притяжения двух ферромагнитных материалов. Сила притяжения пропорциональна квадрату индукции, а индукция зависит от величины зазора между ферромагнитным изделием и магнитом.

Индукционный метод определяет изменение магнитного сопротивления. Преобразователь толщиномера фиксирует изменение магнитной индукции, которая обусловлена изменением магнитной проводимости среды.

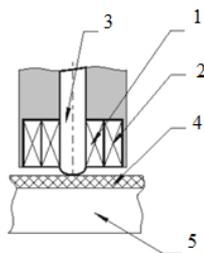


Рис.1. Индукционный толщиномер

На рис.1 представлен индукционный толщиномер (1- обмотка возбуждения, 2- измерительная обмотка, 3- сердечник, 4- исследуемое покрытие, 5- основание).

Магнитоэлектрический метод основан на определении изменения напряженности магнитного поля в цепи постоянного магнита или электромагнита при изменении расстояния между магнитным полем и ферромагнитным изделием. С помощью магниточувствительных элементов(рамки с током, феррозонды, магнитные стрелки и т.д.) фиксируется информация о толщине покрытия.

Преимущества данного метода толщинометрии:

- широкий диапазон измерений;
- низкая погрешность измерения (2-3%);
- обладает малым временем измерения;
- приборы просты по конструкции.

Недостатки:

- высокое энергопотребление по сравнению с ультразвуковым методом.

Вихретоковый метод основан на изменении уплотнения поле вихревых токов в зависимости от изменения толщины контролируемой поверхности изделия. На рисунке 2 представлен вихретоковый метод контроля (1- электромагнитные силовые линии, 2- индикатор, 3- обмотка индуктивности, 4- поле вихревых токов, 5- исследуемое покрытие, 6- основание изделия).

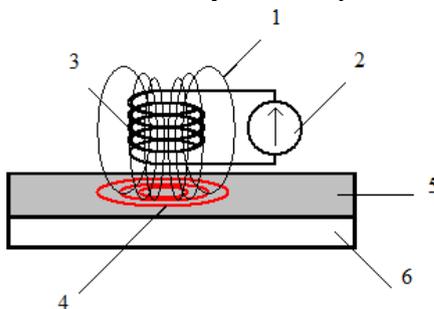


Рис.2. Вихретоковый метод контроля

Преимущества данного метода:

- малое влияние шероховатости объекта контроля на измерение;
- способность производить измерения на изделиях малых размеров без дополнительных приспособлений;
- проведение измерения на изделиях с переменной и высокой намагниченностью;
- высокая точность измерения;
- слабо подвержен влиянию геометрии объекта контроля при измерении.

Недостатки:

- зависимость получения результатов измерений от электропроводности покрытия(необходимо хранить несколько градуировочных характеристик);
- невозможно контролировать толщину проводящих покрытий на проводящем основании.

Радиационный вид толщинометрии классифицируется на 2 метода: обратного рассеяния бета- излучения, рентгенофлюоресцентный.

Метод обратного рассеяния бета-излучения основан на измерении интенсивности отраженного потока бета-частиц от толщины объекта контроля.

Рентгенофлуоресцентный метод основан на анализе возбужденного рентгеновского излучения с помощью радиоизотопного источника от толщины объекта контроля.

Преимущества радиационного метода:

- возможность измерения довольно больших толщин.

Недостатки:

- большая погрешность измерений ($\pm 10\%$);
- вредность для человека;
- большая трудоемкость при измерении.

Метод мокрого слоя предназначен для контроля толщины неотвердевших лакокрасочных покрытий.

У толщиномеров мокрого слоя есть механическое взаимодействие объекта контроля и средства измерения. Они изготавливаются из алюминия, пластмассы, либо из нержавеющей стали. Толщиномерами данного метода являются измерительные гребенки.

На рисунке 3а. изображен толщиномер-колесо. Данная конструкция толщиномера (колесо) является оптимальным для данного метода измерения. На опорных колесах нанесены отметками зазоры. Колесо прокатывается по исследуемому покрытию и по отметкам на шкале определяется толщина покрытия. На рисунке 3б. представлена гребенка. Для измерения толщины, необходимо вдавить ребром гребенку в покрытие до основания, далее через несколько секунд ее извлекают и по значениям зубцов определяют толщину покрытия.

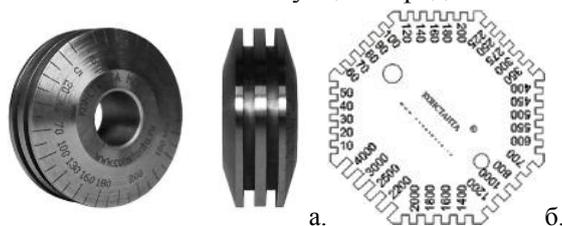


Рис.3 а.-толщиномер-колесо, б.- гребенка

Преимущества метода мокрого слоя:

- быстрота и простота проведения измерения;
- дешевизна.

Недостатки:

- механическое взаимодействие с покрытием изделия.

Рассмотрев самые распространенные методы толщинометрии, можно сделать вывод о том, что оптимальный метод для измерителя толщины лакокрасочного покрытия на ферромагнитных материалах является магнитный. Метод толщинометрии мокрого слоя применяется только для определения толщины неотвердевших лакокрасочных покрытий. Радиационный метод по сравнению с другими опасен для человека и трудоемкий. Для применения ультразвукового метода необходима контактная жидкость, также данные толщиномеры являются дорогостоящими, что является большим недостатком по сравнению с оставшимися методами (магнитным и вихретоковым). У вихретокового метода есть главный недостаток, это зависимость получения результатов измерений от электропроводности покрытия, что затрудняет процесс измерения. А магнитный контроль в отличие от вихретокового не зависит от электропроводности покрытия, также он имеет один важный недостаток, это высокое электропотребление, но по сравнению с остальными рассмотренными методами, этот недостаток становится незначительным. В заключении можно сказать, что магнитный метод лучше подходит для качественного и надежного измерения толщины лакокрасочного покрытия на ферромагнитном основании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Википедия [Электронный ресурс] / Толщиномер – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D2%E2%EB%F9%E8%ED%E2%EC%E5%F0>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус. (дата обращения 21.02.2015).
2. Estroyka [Электронный ресурс] / Антикоррозионные покрытия. – Режим доступа: <http://estroyka.com/story/antikorroziynoe-pokrytie>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус. (дата обращения 07.03.2015).
3. Techno-NDT [Электронный ресурс] / Толщинометрия, применение УЗ толщиномеров – Режим доступа: <http://t-ndt.ru/index.php?id=1296>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус. (дата обращения 21.03.2015).
4. Контроль Измерение Диагностика [Электронный ресурс] / Особенности использования толщиномеров покрытий – Режим доступа: <http://www.defectoscop.ru/page18.html>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус. (дата обращения 21.03.2015).
5. Дефектоскопист.ру [Электронный ресурс] / Вихретоковый фазовый метод измерения толщины гальванических покрытий – Режим доступа: <http://defektoskopist.ru/showthread.php?t=3195>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус. (дата обращения 19.04.2015)

Сведения об авторах:

Жевтун Е.С.: студент кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета, сфера научных интересов – вихретоковая телщинометрия.

Уразбеков Е.И.: ассистент кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета, сфера научных интересов – вихретоковая телщинометрия.

УДК 681.2.082

КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ФАКЕЛА В ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛАХ (CONTROL OF FLAME IN COAL-DUST BOILERS)

Б.Ш. Жунисбеков
B.S. Zhunisbekov

Томский политехнический университет
E-mail: bj_08@mail.ru

Установлено, что в области энергетики необходимо внедрять высокоэкономичные системы контроля в целях обеспечения безопасности тепловых электростанций, поэтому данное исследование является актуальным. Цель исследования – разработать систему контроля положения факела в пылеугольных котлах. В статье рассмотрены методы контроля положения объекта – тепловые и оптические. Приведена структурная схема системы контроля положения.

(It was established that in the field of energy should be introduced high-efficiency control system to ensure the safety of thermal power stations, so the research is relevant. The purpose of research - to develop a system to monitor the position of the torch in the coal-fired boilers. The article describes the methods of monitoring the position of the object - thermal and optical. Was shown the block diagram of the position control.)

Ключевые слова:

Контроль положения, тепловой контроль, оптический контроль, факел.
(Position control, thermal control, optical control, flame).

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г., одной из важнейших целей долгосрочной политики в области электро- и теплоэнергетики являются уменьшение удельных расходов ресурсов на производство тепловой и электрической энергии с помощью внедрения современного высокоэкономичного оборудования, оптимизация топливного баланса путем максимально возможного использования потенциала развития угольных тепловых электростанций [1].

В последнее время, в связи с повышением цен на газ, переориентация топливного баланса ТЭС с жидких и газообразных топлив на твердые является общемировой тенденцией. Доля пылеугольных тепловых электростанций при выработке электрической и тепловой энергии постоянно увеличивается в развитых странах и составляет около 60% в США, 80% в Казахстане и 87% в Китае [2]. В России же, из-за низких цен на газ во внутреннем рынке в 90-х годах XX столетия, эта доля составляет 19% (по состоянию на 2013 г.) [3]. Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г., доля пылеугольных ТЭС будет расти.

В связи с вышеуказанной стратегией, в данный момент предъявляются повышенные требования к технологическому оборудованию, качеству производимой тепловой и электрической энергии, системам контроля производства энергии. Это требует разработки и внедрения автоматизированных систем, включающих в себя первичные датчики и блоки обработки и представления информации. Применительно к пылеугольным котлам, рассматриваемым в данной диссертационной работе, это означает необходимость многократного контроля положения факела.

Смещение факела в пылеугольном котле может привести к следующим последствиям:

- неравномерность прогрева теплообменников котельного агрегата, что, в свою очередь, является причиной снижения тепловой эффективности котла;
- перегрев узлов крепления, что может стать причиной вибрации, а то и обрушения котлоагрегата;
- повышенный износ труб теплообменников, вследствие чего потребуются несвоевременная замена труб.

Основным элементом котельного агрегата, является топочная камера, где будет осуществляться контроль положения факела.

Топка представляет собой камеру прямоугольной формы, где выгорание топлива осуществляется в факеле, который заполняет объем данной топки [4]. По виду сжигаемого топлива топки делятся на пылеугольные и для сжигания жидкого и газообразного топлива [5]. Для обеспечения сгорания частиц топлива в течение короткого пребывания в топочном объеме, нужно подавать их в топочную камеру в измельченном виде. Это нужно для того, чтобы достичь увеличения поверхности соприкосновения топлива с воздухом. Топливо измельчается до пылевидного состояния в специальных угольных мельницах. Топливо, измельчаемое в мельницах, подвергается сушке в целях обеспечения производительности и бесперебойной работы этих мельниц. Котлы с пылеугольными топочными камерами необходимо снабдить системой устройств пылеприготовления. В устройствах пылеприготовления твердое топливо проходит следующие стадии подготовки: дробление, сушку и измельчение. Приготовленное пылевидное топливо первичным воздухом подается в горелки топки для сжигания.

Схема пылеугольной топки представлена на рисунке 1.

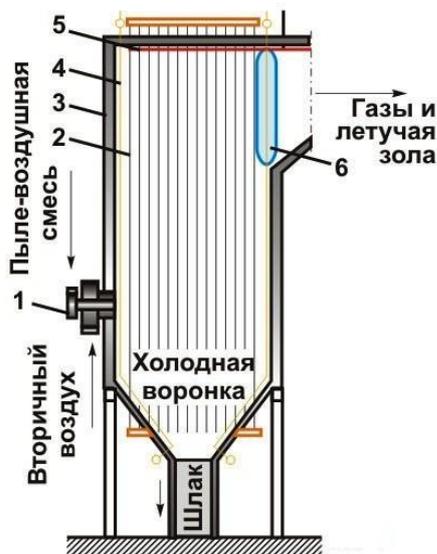


Рис. 1. Схема пылеугольной топки

1 – горелка; 2 – топочная камера; 3 – обмуровка; 4 – топочный экран;
5 – пароперегреватель; 6 – фестон

Стены топки покрыты вертикально расположенными кипятильными трубами, которые называются топочным экраном 4. Верхняя часть камеры примыкает к пароберегревателю 5, и отделяется от него фестомом 6, Нижняя часть котла, которая выполнена в виде усеченной воронки, называется холодной воронкой. В стенке топочной камеры размещается пылеугольная горелка. Сгорание топлива осуществляется в топке во взвешенном состоянии и образует при этом факел в виде яркого светящегося пламени. Температура, которая возникает в факеле пылеугольной топочной камеры, снижается при поглощении большого количества тепла трубками теплообменников в топке [5].

Для контроля положения факела применяется термоэлектрический метод, проще говоря, контроль положения с помощью термопар.

Термопара, которая образована из двух проводников А и В, а два их спая имеют температуру T_1 и T_2 , создает электродвижущую силу, зависящую от материала проводников А и В, также от температур T_1 T_2 . Обычно температура одного спая является постоянной и известной; она служит опорной, или нулевой точкой $T_1 = T_g$. Температура другого спая T_2 равна температуре T_x , которую приобретает этот спай в среде исследуемого объекта с температурой T_x . Так как измерительная информация передается от спая, имеющего очень малые размеры, это дает возможность проведения точечных измерений температуры [6].

Термопары обладают очень широким диапазоном температур, в зависимости от материала термопары - от температур, близких к абсолютному нулю, до $+2750^{\circ}\text{C}$ [7]. Эта характеристика термопар позволяет контролировать положение факела, температура которого достигает 2000°C [8].

При контроле положения факелов в пылеугольных котлах учитывается разница температур между двумя термопарами, стоящими на равном расстоянии от центра топки, в одном горизонте. Центр топки, он же центр факела определяется и устанавливается наладчиками теплоэнергетического оборудования. Для получения более точной информации о положении факела, в топке по периметру котла устанавливается по несколько термопар на разной высоте. Чем больше количество термопар в одном горизонте, тем более точно определяется положение факела.

Контроль положения осуществляется следующим образом: снимаются показания с термопар, сигналы поступают на измерительный преобразователь. Измерительный преобразователь вычитывают разницу показаний, и передает эту разницу в устройство обработки и регистрации сигналов. В случае, если температура одной из термопар превысило допустимое значение, то есть, факел отклонился в сторону одной из них, устройство обработки и регистрации сигналов выдает сигнал о смещении факела. Также сравниваются показания термопар, расположенных симметрично противоположно друг другу на одном горизонте. Это помогает определить, в какую сторону сместился факел. Далее получают сигналы с других горизонтов, для определения угла смещения факела. Полученные данные идут на АРМ оператора и отображаются на мониторе или другом устройстве отображения.

Метод контроля положения с помощью термопар имеет следующие достоинства: экономичность, удобство применения, возможность проведения измерений на довольно больших температурах [11].

Данный метод имеет ряд недостатков. Термопары обладают большой инерционностью, что не позволяет быстро и своевременно реагировать на изменение температуры. Обычно термопары имеют относительно большие погрешности измерений по сравнению с современными датчиками, так как один из контактов термопары должен находиться при известной (опорной температуре). Контроль положения с помощью термопар является контактным методом, поэтому при измерениях в пылеугольных котлах, где горящие гранулы угольной пыли являются причиной высокой абразивности и стачивают контакты термопар, что приводит к быстрому износу чувствительных элементов.

В связи с вышеуказанными недостатками, является целесообразным применять для контроля положения факела в пылеугольных котлах оптические методы контроля положения.

В настоящее время оптико-электронные приборы применяются во всех областях науки, техники, производства, в которых используется для измерения параметров и количественных характеристик не только физических, но и технологических процессов и для управления бытовой техникой и подвижными объектами.

При этом благодаря положительным свойствам оптического излучения, такие системы могут решать самые сложные многофункциональные задачи с высокими характеристиками точности, надежности, быстродействия, пропускной способности, возможностями логической и математической обработки информации.

Характерными представителями подобных систем являются оптические преобразователи. В таких преобразователях входная величина (линейное или угловое перемещение) преобразуется в форму, которая удобна для восприятия техническим средством [9].

Развитие современных технологий требует значительного увеличения точности при контроле положения объектов. Как показывает практика, для контроля положения целесообразно использовать бесконтактные оптические методы, обладающие высокой чувствительностью, точностью и скоростью измерений [10].

По принципиальным методам формирования кодирующих сигналов (рабочих мер), оптические преобразования подразделяются на растровые, интерференционные и дифракционные методы [11].

Растровые преобразователи представляют собой последовательность штрихов, которые нанесены на рабочую поверхность меры через определенный интервал. В таких кодирующих структурах длина штриха намного больше шага штриха и в результате перемещений анализирующей структуры относительно кодирующей структуры происходит смещение образующихся комбинационных полос. [9]

Дифракционные методы контроля пространственного положения объектов наиболее часто используют в измерительной технике, когда требуется высокая точность,

бесконтактность и автоматизация измерительного процесса. Они позволяют производить измерения размеров в диапазоне от единиц до сотен микрометров, с точностью до нескольких микрометров. Лазерное излучение позволяет получить высококонтрастную дифракционную картину с большим числом дифракционных порядков и избавиться от погрешностей, связанных с некогерентностью излучения. По интенсивности в ее характерных точках или расстоянию между ними судят о размерах, пространственном положении или физических свойствах объекта [12].

На данный момент в сфере контроля положения объектов широкое применение имеют интерференционные методы контроля. Данные методы используются для оценки геометрических параметров и их положения в пространстве.

Недостатком современных интерферометров является сложность конструкции данных приборов и жесткие требования к условиям окружающей среды при проведении измерений.

В настоящее время активно развивается новое направление в оптических измерениях – низкокогерентная интерферометрия. При помощи данного метода можно контролировать положение объекта через модуль степени временной когерентности излучения, т.е. по максимальному значению чувствительного интерференционного сигнала. Чувствительность определяется длиной временной когерентности.

Эквивалентность процессов временного и пространственного усреднения хорошо просматривается, когда в результирующем интерференционном поле фотоприемником не разрешаются амплитудно-фазовые пространственные распределения [13].

Интерференционный способ контроля положения позволяет проводить измерения с высокой точностью. Также низкокогерентная интерферометрия по своим принципиальным диагностическим и измерительным характеристикам не уступает интерферометрам с использованием источников света с низкой степенью временной когерентности. Возможно применение таких интерферометров в целях определения и обнаружения положения отражающего объекта в рассеивающей среде.

На рисунке 2 показана структурная схема системы контроля положения факела.

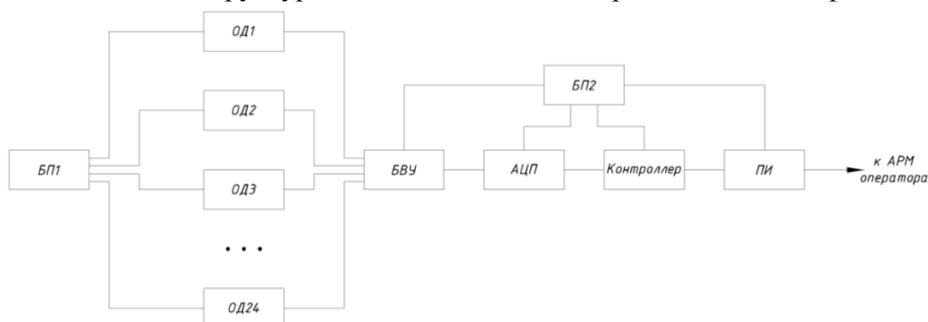


Рис. 2. Структурная схема системы контроля положения факела, где БП1, БП2 – блоки питания; ОД1-ОД24 – оптические датчики; БВУ – блок входных усилителей; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ПИ – преобразователь интерфейсов

Оптические датчики устанавливаются на стенках топочной камеры на 4 разных горизонтах, для того, чтобы определить точный угол смещения факела. На каждом горизонте устанавливается 6 оптических датчиков, размещенных по кругу. Датчики определяют положение факела по светимости и измеряют расстояние до факела. Показатели датчика сравниваются с показаниями такого же датчика, расположенного диаметрально противоположно. Так как датчики находятся на удаленном расстоянии от блока контроллера, требуется усиление сигнала, которое осуществляется в блоке входных усилителей. Далее сигнал преобразуется в цифровой вид и передается на контроллер. Сигнал обрабатывается в контроллере и передается на АРМ оператора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергетическая стратегия РФ на период до 2030 г. Утверждена правительством РФ от 13 ноября 2009 г., № 1715 – 144 с.

2. Мессерле В.Е., Устименко А.Б., Аскарлова А.С., Нагибин А.О. Горение пылеугольного факела в топке с плазменно-топливной системой// Теплофизика и аэромеханика. – 2010. – Т. 17. - №3. – С. 467-476.
3. Серант Ф.А. Состояние и перспективы развития угольной энергетики в России //Experiences and innovation sinenergy. – 2013. –Т1. – С. 243-251.
4. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы. Справочное пособие. – Красноярск: Издательство КГТУ, 2003. – 229 с.
5. Киселев Н.А. Котельные установки. М.: Высшая школа, 1979. – 270 с.
6. Нестерук Д.А., Вавилов В.П. Тепловой контроль и диагностика. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – 104 с.
7. Геращенко О.А., Федоров В.Г. Тепловые и температурные измерения. Справочное руководство. – Киев: Наукова Думка, 1965. – 303 с.
8. Деев Л.В., Балахничев Н.А. Котельные установки и их обслуживание. – М.: Высшая школа, 1990. – 239 с.
9. Коротаяев В.В., Прокофьев А.В., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Часть 1. Оптико-электронные преобразователи линейных перемещений. Учебное пособие. -СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 114 стр.
10. Иванов А.Н., Киреев В.Е., Носова М.Д. Дифракционные методы контроля пространственного положения объектов // Известия ВУЗов. Приборостроение. - 2013. - №11. – С. 77-85.
11. ГОСТ 26242-90. Системы числового программного управления. Преобразователи перемещений. Общие технические условия / М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 13 с.
12. Иванов А.Н. Дифракционные методы контроля геометрических параметров объектов и их пространственного положения. // Вестник II межвузовской конференции молодых ученых. Сборник научных трудов. СПб. – 2012. - Т. 3. – С. 72-80.
13. Рябухо В.П., Хомутов В.Л., Лякин Д.В., Константинов К.В. Лазерный интерферометр с острофокусированными пучками для контроля пространственного положения объекта. // Письма в ЖТФ. – 1998. - №4. – С. 16-25.

Сведения об авторе:

Жунисбеков Б.Ш.: г. Томск, Национально-исследовательский Томский политехнический университет, магистрант; сфера научных интересов: исследования в области измерительных приборов и систем контроля в теплоэнергетике.

УДК: 537.632/.636

**ЕМКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ С МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ ДЛЯ МАГНИТНОГО
КОНТРОЛЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
(CAPACITIVE SENSORS WITH A MAGNETIC FLUID FOR MAGNETIC MONITORING
OF SMALL CHANGES OF THE MAGNETIC FIELD)**

Д. О. Зятыков, А. В. Юрченко, В. Б. Балашов*, В. И. Юрченко**
D. Zyatkov, A. Yurchenko*, V. Balashov*, V. Yurchenko**

Томский политехнический университет
*Томский государственный университет
**АО «НИИПП», г. Томск
E-mail: zyatkov_do@mail.ru

В данной работе показана возможность создания миниатюрного чувствительного датчика с магнитной жидкостью для детектирования и измерения индукции магнитного поля. Действие датчика основано на изменении емкости конденсатора с магнитной жидкостью от величины магнитного поля. Исследуется изменение емкости в зависимости от концентрации магнитного порошка дисперсностью 100 нм между электродами под действием внешнего магнитного поля. Рассмотрена структурная организация магнитных частиц в цепочечные агрегаты при воздействии внешнего магнитного поля. Представлены экспериментальные образцы емкостного чувствительного элемента для датчика магнитного поля и описан эксперимент измерения емкости конденсатора. Установлено, что процессы агрегирования (структурирования) в магнитной жидкости под действием внешнего магнитного поля приводят к изменению диэлектрической проницаемости активного диэлектрика (магнитной жидкости) между пластинами конденсатора. Сделан вывод о том, что существует новый способ детектирования и измерения индукции магнитного поля.

(In this work the possibility of creating of tiny sensitive sensor with magnetic fluid for the detection and measurement of induction of the magnetic field is demonstrated. A sensor based on change of capacity of the condenser with magnetic fluid from the magnitude of a magnetic field. Change of capacity depending on concentration of magnetic particles the size of 100 nanometers between electrodes under the influence of an external magnetic field is investigated. The structural organization of magnetic particles in chain aggregates by effect of an external magnetic field is considered. Experimental samples of a capacitive sensor element for the magnetic field sensor are described. An experiment of measurement of capacity of the condenser is described. The analysis of the results show that the processes of aggregation in the magnetic fluid under the influence of an external magnetic field lead to change of dielectric permeability of active dielectric (magnetic fluid) between condenser plates. In conclude that the new way of detecting and measurement of magnetic induction of a magnetic field is obtained.)

Ключевые слова:

Магнитная жидкость, магнитное поле, конденсатор, цепочечные агрегаты, диэлектрическая проницаемость.

(Magnetic fluid, magnetic field, capacitor, chain aggregates, dielectric permeability.)

Магнитные коллоиды (магнитные наножидкости) представляют собой устойчивую коллоидную систему, состоящую из однодоменных магнитных наночастиц, взвешенных в жидком носителе и стабилизированных структурномеханически или электростатически. Основной компонент магнитной жидкости, от которого зависят ее магнитные свойства, дисперсный ферро- или ферримagnetик, ферриты–шпинели, ферриты–гранаты, а так же переходные металлы, железо, кобальт, никель. Магнитные свойства магнитной жидкости определяются объемным содержанием магнитного порошка в жидком носителе. Седиментационная устойчивость частиц в жидком носителе достигается использованием частиц дисперсностью 10 нм [1]. Для агрегативной устойчивости магнитных частиц в магнитной жидкости необходимо, чтобы при сближение частиц появлялись силы отталкивания между ними, что достигается путем введения в коллоид определенного количества стабилизатора – поверхностно-активного вещества (ПАВ). Образованный на поверхности

частиц молекулами ПАВ адсорбционный слой создает структурно-механический барьер, препятствующий укрупнению частиц вследствие их слипания. Как правило, в качестве ПАВ используют вещества, строение которых характеризуется наличием короткой функциональной группы (щелочной, кислотной и др.) и длинной хвостовой цепочки (углеводородной, фторуглеродной и др.); классическим стабилизатором для магнитной жидкости является олеиновая кислота [2].

В столь малых частицах при сохранении в них самопроизвольной намагниченности возрастает вероятность тепловых флуктуаций магнитного момента частицы. В результате этого появляется возможность вращения магнитного момента относительно твердой матрицы. Впервые на этот тип вращения магнитного момента было указано Л. Неелем [3], а такие частицы получили название «суперпарамагнитные» [4].

В жидкой среде возможна также вращательная диффузия самих частиц. В этом случае может проявляться броуновский механизм релаксации магнитного момента. Преобладание того или иного механизма релаксации зависит от соотношения времен релаксации Нееля и вращательной диффузии.

Ряд магнитных свойств магнитной жидкости определяются размерами, магнитной структурой ферромагнитных частиц, а так же их взаимодействием. Основным средством управления магнитными жидкостями является магнитное поле. В магнитном поле физические свойства магнитных жидкостей (оптические, магнитные, электрические, теплофизические) анизотропны. Процессы установления анизотропии определяются броуновским движением частиц и тепловыми флуктуациями их магнитного момента. Специфика теплофизических явлений в магнитной жидкости связана с зависимостью намагниченности от температуры, концентрации частиц, а также с действием пондеромоторных сил их собственного поля [5].

Физических свойств магнитных жидкостей связаны с магнитодипольным взаимодействием частиц, которое может приводить к процессам агрегирования в таких системах. Таким образом, в магнитной жидкости происходит объединение частиц, образуя цепочечные агрегаты (рис. 1).

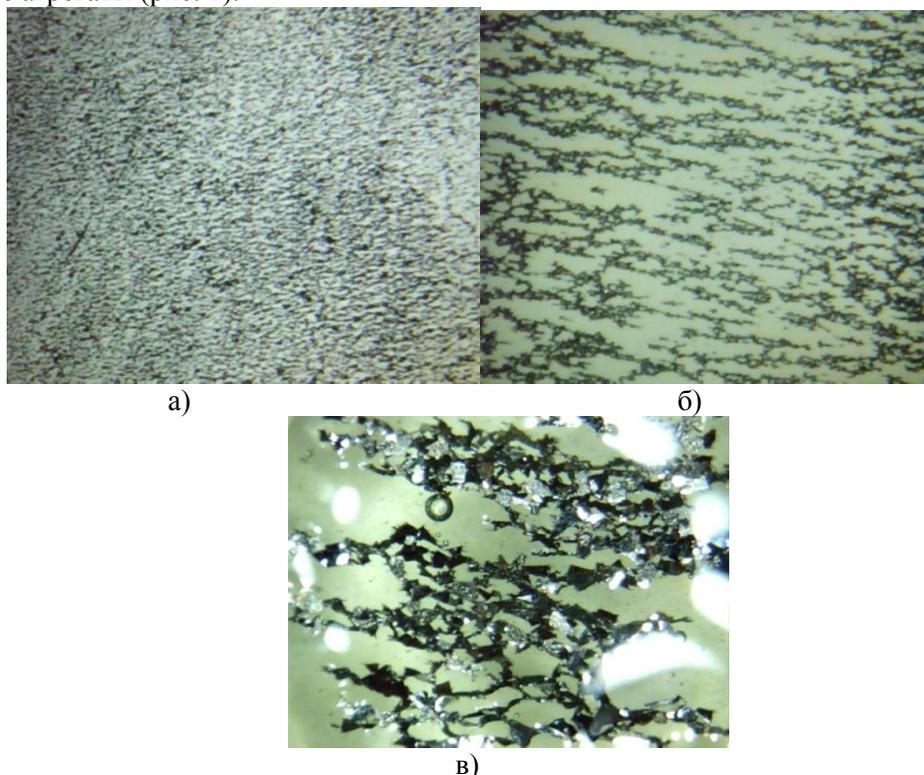


Рис. 1. Магнитная жидкость с разным наполнителем под действием магнитного поля направленного горизонтально плоскости рисунка, где а) частицы железа дисперсностью 100 нм, б) частицы карбонильного железа размером 2-5 мкм, в) частицы аморфного магнитомягкого сплава дисперсностью менее 200 мкм

Предполагается, что цепочечные агрегаты, образующиеся в магнитных жидкостях, оказывают существенное влияние на вязкость ферроколлоида и являются одной из основных причин неньютоновской жидкости [6].

Целью настоящей работы является исследование возможности создания миниатюрного чувствительного датчика с магнитной жидкостью для детектирования и измерения магнитной индукции магнитного поля.

Чувствительный элемент представляет собой конденсатор с активным диэлектриком. В качестве активного диэлектрика в нашем случае выступает ферромагнитная жидкость, которая по-разному структурируется в зависимости от индукции и направленности вектора магнитного поля. Обкладки конденсатора выполнены из металлов с высокой электропроводностью.

Первый образец чувствительного элемента для датчика магнитного поля представляет собой ситалловую пластину с нанесенной на ее поверхности структурой (конденсатор). Конденсатор выполнен из золота (рис. 2).

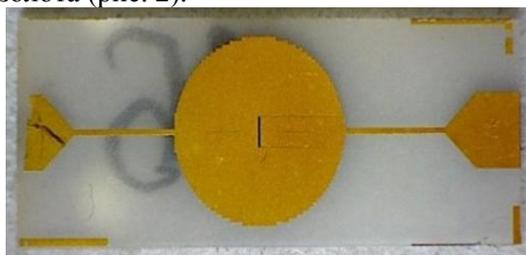


Рис. 2. Конденсатор на ситалловой пластинке

Толщина ситалловой пластины $h = 470$ мкм. Толщина напыления $h_{\text{нап}} = 6.21$ мкм.

На рисунке 3 представлена схема конденсатора.

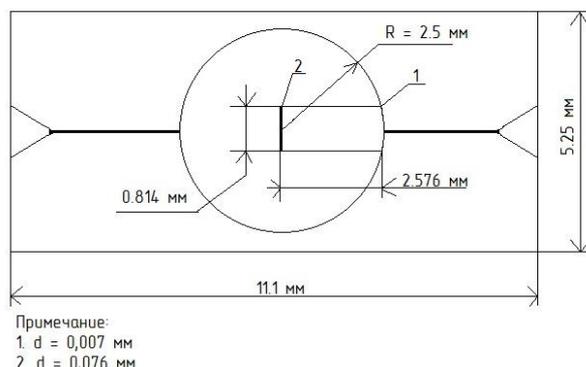


Рис. 3. Схема конденсатора

На следующем этапе было изготовлено четыре образца магнитной жидкости с концентрацией магнитного порошка 10%, 20 %, 30 % и 40 %. Магнитная жидкость представляла собой полиметилфенилсилоксан (ПФМС-4) и порошок железа дисперсностью 100 нм. Капля магнитной жидкости наносится на пластину-конденсатор (рис. 4).

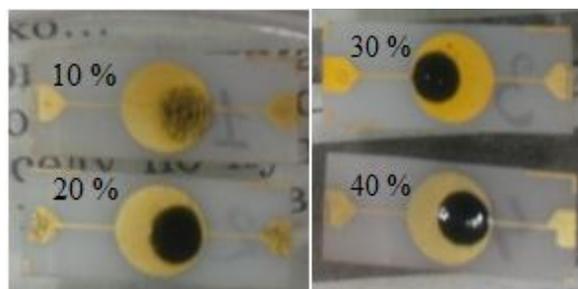


Рис. 4. Магнитная жидкость с разной концентрацией магнитного порошка на поверхности конденсатора

Однако, стабилизирующий компонент (ПАВ) не использовался, так как на измерение затрачивалось пара минут, поэтому магнитную жидкость можно рассматривать как устойчивую систему в процессе измерений и пренебречь седиментацией частиц.

Емкость полученных сенсорных элементов, с разной концентрацией ферромагнетика в масле, была измерена измерителем L, C, R типа E7-12 на частоте измерительного сигнала 1 МГц. Величина измерительного электрического поля мала и не влияет на состояние суспензии в измерительной ячейке. Для изучения влияния магнитной жидкости на электрические параметры ячейки она подвергалась воздействию внешнего магнитного поля. Магнитное поле создавалось постоянным магнитом диаметром 17,48 мм и толщиной 1,61 мм. Магнит подносился к торцу конденсатора на расстояние 25 мм. Магнитная индукция магнита на расстоянии 25 мм измерена микротеслометром МТ-10 и составила 150 мкТл. Результаты измерений были занесены в таблицу 1.

Таблица 1. Относительное изменение емкости от процентного содержания магнитных частиц

Концентрация, %	10	20	30	40
ΔC, %	1	1.4	5	15.3

Результаты эксперимента показали, что с увеличением концентрации магнитного порошка относительное изменение емкости (ΔC) увеличивается:

$$\Delta C = \frac{C(H) - C(0)}{C(0)}; \quad (1)$$

где ΔC – относительное изменение емкости, C(H) – емкость конденсатора с магнитной жидкостью под действием внешнего магнитного поля, C(0) – емкость конденсатора с магнитной жидкостью без воздействия внешнего магнитного поля.

Второй образец для сравнения с пластинчатым конденсатором использовался корпус транзистора без кристалла (рис. 5).

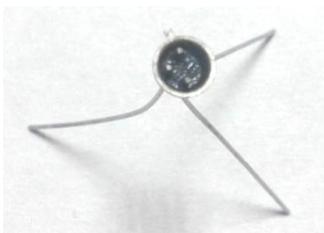


Рис. 5. Корпус транзистора без кристалла

Внутри корпуса нанесли ферромагнитный раствор, аналогичный нанесенному на пластину-конденсатор, с концентрацией железного порошка 10% и 40%. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Относительное изменение емкости под действием магнитного поля

магнитное поле	H = 0	H >> 0	H = 0	H >> 0
концентрация магнитного порошка	C _{Fe} = 10%	C _{Fe} = 10%	C _{Fe} = 40%	C _{Fe} = 40%
Измерение № 1, pF	0.217	0.199	0.392	0.385
Измерение № 2, pF	0.214	0.205	0.396	0.386
Измерение № 3, pF	0.217	0.200	0.397	0.386
Измерение № 4, pF	0.216	0.199	0.398	0.386
Измерение № 5, pF	0.218	0.201	0.401	0.384
среднее значение, pF	0.216	0.200	0.397	0.381
ΔC, %	7.4		4	

Еще одним альтернативным методом для фиксации магнитного поля, был сенсорный элемент на основе кварцевого капилляра с внутренним диаметром 0,7 мм, расстояние между электродами 3 мм с использованием 40% раствора наночастиц железа в ПФМС-4 (рис. 6).

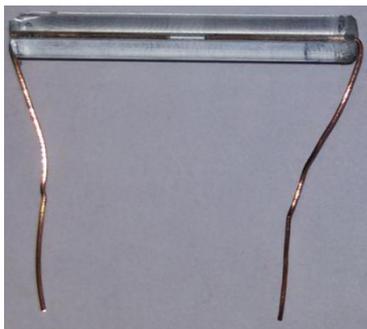


Рис. 6. Стекланный капилляр

Результаты измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3. Относительное изменение емкости под действием магнитного поля

магнитное поле	$H = 0$	$H \gg 0$
измерение № 1, pF	0.329	0.226
измерение № 2, pF	0.328	0.280
измерение № 3, pF	0.331	0.260
измерение № 5, pF	0.343	0.260
измерение № 6, pF	0.341	0.230
среднее значение, pF	0.334	0.251
$\Delta C, \%$	24.8	

Процессы агрегирования (структурирования) (рис.1) в магнитной жидкости под действием внешнего магнитного поля приводят к изменению электрических параметров измерительной ячейки. Как известно, емкость любого конденсатора зависит от диэлектрической проницаемости среды между обкладками. При действии магнитного поля на емкостной чувствительный элемент с ферромагнитной жидкостью в ферромагнитной жидкости происходит объединение частиц в цепочечные агрегаты вследствие взаимодействия магнитных моментов и выстраивание их определенным образом вдоль вектора магнитного поля. В результате изменяется диэлектрическая проницаемость активного диэлектрика (магнитной жидкости) между пластинами конденсатора.

По результатам экспериментального исследования можно сделать вывод, что получен новый способ детектирования и измерения магнитной индукции магнитного поля. Показано, что емкостные ячейки с магнитной жидкостью чувствительны к внешнему магнитному полю вследствие ориентации магнитных частиц и их взаимодействия. В дальнейшем планируется использовать частицы различных размеров и свойств для увеличения чувствительности емкостного элемента для датчика магнитного поля и исследовать предельную чувствительность датчика в слабых полях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блум Э. Я., Майоров М. М., Цеберс А. О. Магнитные жидкости. – Рига.: Зинатне, 1989. – 386 с.
2. Закинян, А. Р., Диканский Ю. И. Магнитные и электрические свойства магнитных эмульсий – Саарбрюккен.: LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 146 с.
3. Neel L. Influence des fluctuations thermiques sur l'aimantation de grains ferromagnetiques tres fins// Academic des sciences. Comptes rendus. – 1949. – Vol. 228. – N 8. – P. 1927–1937.
4. Bean C.P. Hysteresis loops of mixtures of ferromagnetic micropowdes // Journal of Applied Physics. – 1955. - Vol.26. – N 11. – P. 1381–1383.
5. Вонсовский, С.В. Магнетизм. – М.: Наука, 1971. – 1032 с.

6. Канторович С. С. Цепочечные агрегаты в полидисперсных магнитных жидкостях: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. – Екатеринбург, 2004. – 175 с.

Сведения об авторах:

Зятыков Д. О.: г. Томск, аспирант Института неразрушающего контроля ТПУ. Область научных интересов: электромагнитные поля, электрофизика магнитных жидкостей, датчики.

Юрченко А. В.: г. Томск, д-р техн. наук, профессор кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ, руководитель направления солнечной энергетики. Область научных интересов: возобновляемые источники энергии.

Балашов В. Б.: г. Томск, инженер-технолог ОАО НИИ Полупроводниковых приборов. Область научных интересов: полупроводниковая электроника.

Юрченко В. И.: г. Томск, начальник 110 отдела ОАО НИИ Полупроводниковых приборов. Область научных интересов: СВЧ электроника, методы и приборы контроля материалов и изделий, системы технического зрения, датчики.

УДК 681.2.084

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ
ПРИЗНАКОВ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ
(HARDWARE AND SOFTWARE FOR EARLY DETECTION OF SIGNS SUDDEN
CARDIAC DEATH)**

Б.С.Линхобоев, Д.К. Авдеева
B.S. Linkhoboev, D.K. Avdeeva

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
E-mail: batoha102mail.com

В данной статье представлен экспериментальный образец аппаратно-программного комплекса для раннего обнаружения признаков внезапной сердечной смерти.
(This paper presents an experimental model of hardware and software for the early detection of signs of sudden cardiac death).

Ключевые слова:

Внезапная сердечная смерть (ВСС), электрокардиограмма (ЭКГ), аппаратно-программный комплекс (АПК), микропотенциалы, наносенсоры.
(Sudden cardiac death (SCD), electrocardiogram (ECG), hardware-software complex (HSC), micropotential wells, nanosensors).

Введение

Распространенность ВСС в США составляет от 300 000 до 400 000 случаев в год, а частота ВСС составляет от 0,36 до 1,28 на 1000 населения в год. По данным некоторых авторов, в России этот показатель составляет от 0,8 до 1,6 на 1000 человек в год, но если учесть погрешности статистики и формулировки посмертного диагноза, можно предположить, что он значительно выше [1].

В такой ситуации развитие технологий и методов диагностики и лечения ССЗ является не только вопросом развития отрасли, но и фактором национальной безопасности в целом.

Как и большинство болезней, заболевания сердечно - сосудистой системы достаточно легко излечимы на ранних стадиях. Однако выявить ССЗ «в зачатке» не только чрезвычайно сложно, но и фактически невозможно при отсутствии специальных средств диагностики.

В настоящее время актуальным остается разработка аппаратно-программного комплекса для регистрации высокоточной ЭКГ с низким уровнем шума, что позволит регистрировать максимально полезный сигнал без фильтрационного искажения. Наличие такого электрокардиографа позволит регистрировать с высоким разрешением микропотенциалы сердца, как у пациентов, имеющих определенную патологию миокарда, так и проводить скрининг на предмет выявления признаков, имеющих высокий уровень прогноза развития внезапных нарушений сердечного ритма и развития ВСС. Имеющиеся на сегодняшний день результаты исследований не дают однозначного ответа о диагностической или прогностической ценности микропотенциалов на ЭКГ, как маркеров ВСС. Для решения этих вопросов необходимо проведение дальнейших изысканий в этом направлении. Перспективным является применение для этой цели электрокардиографов высокого разрешения. Проведенный анализ показал, что в настоящее время отсутствуют аппаратно-программные комплексы для массового применения (в поликлиниках, амбулаториях, скорой помощи, в домашних условиях, в постоянно носимых аппаратах) с целью неинвазивного исследования электрической активности сердца в реальном масштабе времени и способных регистрировать микропотенциалы, которые приводят к развитию жизнеугрожающих нарушений сердечного ритма.

Математическая модель

Рассмотрение физиологических механизмов формирования ЭКГ позволяет выделить

микрopotенциалы разных видов: специализированной проводниковой системы, предсердий, желудочков сердца и диастолы. Потенциалы каждого вида обычно возникают в «своих» фазах сигнала и можно выделить микрopotенциалы предсердий и желудочков, возникающие в «ранние» и «поздние» фазы электрического возбуждения предсердий и желудочков сердца. Интервалы наиболее вероятного появления микрopotенциалов каждого вида указаны на рис. 1, а типичный характер их проявления иллюстрируется там же фрагментами сигнала с увеличенным масштабом отображения [2].

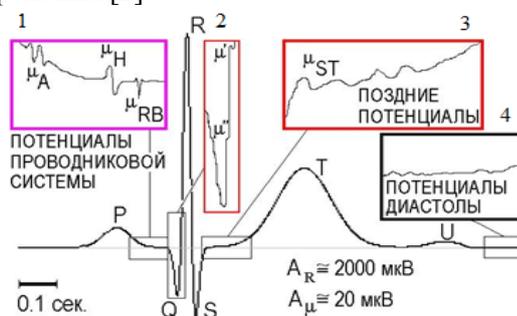


Рис. 1. Интервалы наиболее вероятного появления микрopotенциалов в ЭКГ:

- 1 - потенциалы проводниковой системы сердца: А - атриовентрикулярного узла; Н - пучка Гиса; RB - правой ножки пучка Гиса; 2 - ранние потенциалы желудочков: μ' - «зазубрина», μ'' - «ступенька»; 3 - поздние потенциалы желудочков (также различают μ' и μ''); 4 - следовые потенциалы диастолы

Наибольшую известность в аритмологии ВСС получили микрopotенциалы ЭКС так называемых «поздних потенциалов желудочков» (ППЖ) сердца, которые проявляются как низкоамплитудные высокочастотные колебания, возникающие непосредственно после окончания QRS-комплекса: в интервале сегмента ST и в начале зубца T (окно 3 на рис. 1). Появление таких ЭКГ признаков может явиться маркером предрасположенности к развитию опасных для жизни осложнений, в частности, у больных с ишемией миокарда или перенесших инфаркт миокарда. Наибольшую сложность в выявлении этих электрофизиологических маркеров ВСС представляет практическое выявление и клиническая интерпретация микрopotенциалов ЭКС у конкретного больного.

По аналогии с поздними потенциалами желудочков было обнаружено замедление проведения активации по предсердиям у больных с фибрилляцией предсердий. У больных с пароксизмальной формой мерцательной аритмии выявляются низкоамплитудные сигналы в конце волны P, так называемые поздние потенциалы предсердий (ППП). Считается, что наличие ППП и ППЖ является маркером повышенной вероятности развития опасных для жизни нарушений ритма сердца.

Аппаратно-программный комплекс

Структурная схема разработанного АПК представлена на рис. 2. Устройство содержит: инструментальные усилители (ИУ), и операционные усилители (ОУ), аналого-цифровые преобразователи (АЦП), микроконтроллер, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), USB, персональный компьютер.

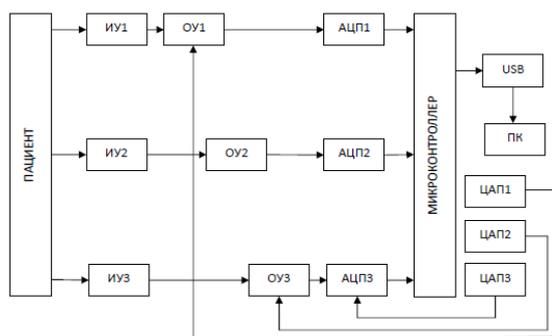


Рис. 2. Структурная схема аппаратно-программного комплекса

Медицинские наносенсоры устанавливаются на грудной клетке пациента. Сигналы с наносенсоров поступают на инвертирующий и неинвертирующий входы инструментальных усилителей, с выхода инструментальных усилителей сигналы поступают на неинвертирующие входы операционных усилителей, сигналы с выхода операционных усилителей поступают на вход аналого-цифрового преобразователя и после оцифровки поступают на вход микроконтроллера, который оценивает входной сигнал и при наличии постоянной составляющей выдает сигнал на ЦАП для устранения постоянного сигнала на входе путем подачи компенсирующего напряжения на инвертирующий вход операционных усилителей. Изолятор изолирует пациента от компьютера. Сигналы через порт USB передаются на монитор ПК либо ноутбука. Питание электрокардиографа осуществляется через порт USB от ноутбука.

Уровень шумов современной элементной базы аналоговых усилителей, дельта-сигма АЦП равен (1 – 1,5) мкВ в полосе частот от 0 до 150 Гц.

Уровень шумов медицинских наносенсоров [5] составляет десятки нановольт в полосе от 0 до 150 Гц. По этой причине шум измерительного канала определяется, в основном, шумом электронных компонентов и микросхем.

Так же в рамках проекта разработаны наносенсоры на основе наночастиц серебра, имплантируемых в микропоры алюмосиликатной глиноземистой керамики, рис.3, которые обеспечили высокие метрологические параметры наносенсоров.

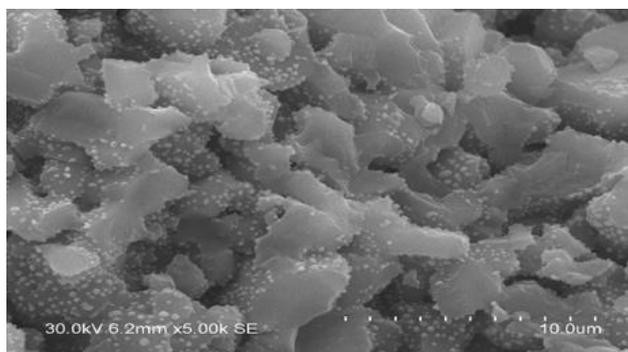


Рис. 3. Изображение пористой структуры керамической диафрагмы с наночастицами серебра

Благодаря данным наносенсорам появилась возможность регистрировать электрокардиосигнал нановольтового и микровольтового уровня без фильтрации и осреднения в реальном масштабе времени [3], рис. 4.



Рис. 4. Пример записи ЭКГ

Случайные микропотенциалы зарегистрированы как на изоэлектрических участках, так и в начале S-T комплекса ЭКГ. Амплитуда микропотенциалов изменяется от единиц микровольт до 25 мкВ. Наблюдается динамика активности случайных микропотенциалов во времени от цикла к циклу. На Р-зубце случайные микропотенциалы не наблюдаются. Амплитуда Р-зубца – 180 мкВ, пиков на Р-зубце – 80 мкВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бойцов С.А., Якушин С.С., Никулина Н.Н. Актуальные вопросы терминологии, классификации и статистического учета острых форм ишемической болезни сердца // Тер архив, 2010. – 82(9). – С. 5-13.
2. Жаринов О.О., Жаринов И.О. Электрокардиография высокого разрешения: новый подход к обработке сигнала.// Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2006. – вып.33.
3. Авдеева Д.К., Ким В.Л., Казаков В.Ю., Иванов М.Л., Григорьев М.Г., Турушев Н.В., Пеньков П.Г. Разработка экспериментального образца аппаратно-программного комплекса для неинвазивной регистрации микропотенциалов сердца в широкой полосе частот без фильтрации и усреднения в реальном времени с целью раннего выявления признаков внезапной сердечной смерти. // Научно-техническая конференция и выставка инновационных проектов СФО. – 2014. – С. 181-185.
4. Шепета А.П., Жаринов О.О. Методика обнаружения микропотенциалов ЭКГ. // Информационно-управляющие системы. – 2002. – Вып.1. – С. 48 - 51.
5. Южак М.М. Разработка и исследование методов и технических средств нановольтового и микровольтового уровня для электрофизиологических исследований. канд. дисс. // Томский политехнический университет, Институт неразрушающего контроля, 2012.
URL http://doc2all.ru/article/15112012_99140_juzhakov/2

Сведения об авторах:

Авдеева Д.К.: г.Томск, д.т.н., профессор кафедры Информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Линхобоев Б.С.: г.Томск, магистрант кафедры Информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

УДК 681.128; 621.183.9

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ И ГРАНИЦ РАЗДЕЛА МНОГОФАЗНЫХ ЖИДКИХ СРЕД
(METHODS FOR MEASURING OF THE LEVEL AND BOUNDARY OF MULTIPHASE LIQUID)**

Ma Синсин, А.Б. Степанов

Ma Xingxing, A.B.Stepanov

Научный руководитель: Федоров Е.М., к. т.н., доцент кафедры информационно-измерительной

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: maxingxing92@mail.ru

Измерение уровня и границ раздела многофазных жидких сред играет важную роль в химической, нефтегазовой, нефтехимической, фармацевтической и других отраслях промышленности. Разнообразие контролируемых сред, условий применения уровнемеров не позволяет использовать какой-либо один физический принцип преобразования, поэтому, как правило, тип уровнемера и принцип его действия выбирают исходя из конкретных контролируемых сред, их состояния и условий применения. Иногда для обеспечения высокой точности и достоверности измерения, для контроля уровня одного и того же вещества могут применяться уровнемеры, основанные на различных принципах преобразования. Например, в случае образования в контролируемой жидкости фракций, возникающих в процессе хранения, переработки.

(Measurement of level and interface multiphase fluid media plays an important role in the chemical, oil and gas, petrochemical, pharmaceutical and other industries. A variety of controlled environments, conditions of use of level does not allow the use of a single physical conversion principle, therefore, as a rule, the type of transmitter and its operating principle is selected because of the particular controlled environment, their status and conditions of use. Sometimes, high accuracy and reliability of the measurement to control the level of the same substance may be used Level based on different principles of transformation. For example, in the case of formation of a controlled liquid fractions encountered during storage and processing.)

Ключевые слова:

Уровень, граница, многофазная, среда, контроль, измерение.

(Level, boundary, multiphase, environment, control, measurement.)

Измерение уровня и границ раздела многофазных жидких сред играет важную роль в химической, нефтегазовой, нефтехимической и других отраслях современной промышленности. Контроль условий технологического процесса предполагает необходимость измерения не только уровня жидкости, но и уровня раздела фаз многофазных сред.

В настоящее время существует достаточно большое количество методов измерения уровня и границ раздела многофазных жидких сред, отвечающих различным требованиям. Многообразие методов измерения уровня объясняется многообразием условий при определении уровня: составом контролируемых сред, характером работы, точностью, надежностью и стоимостью.

Наибольшее распространение среди электрических уровнемеров получили емкостные уровнемеры. Принцип работы емкостных уровнемеров основан на использовании различия электрических свойств жидкости и газового пространства над ней. Главными электрическими свойствами здесь являются диэлектрические проницаемости газовой (воздуха) среды и жидкой среды. Электрическая емкость чувствительного элемента, погруженного в контролируемую жидкость, изменяется в зависимости от положения уровня жидкой среды. Чувствительные элементы таких уровнемеров выполняются в виде протяженных емкостных измерительных преобразователей, состоящих из двух или более электродов-обкладок. Конструктивно это система электродов в виде металлических плоских пластин, стержней или полых коаксиально расположенных между собой цилиндров.

Высокая потребность в чувствительных и точных емкостных уровнемерах и большой спрос на уровнемеры, позволяющие измерять и контролировать положение границ раздела многофазных сред, привели к созданию сегментированных емкостных преобразователей уровня. Преобразователь такого типа конструктивно состоит из двух электродов. Один из электродов – измерительный, выполнен в виде набора отдельных ламелей (обкладок) равномерно размещенных по всей длине чувствительного элемента, второй электрод – общий имеет целостную конструкцию. Управление работой измерительного прибора полностью автоматизировано и осуществляется специальным микропроцессорным модулем, который выполняет последовательный опрос отдельных ламелей. Такое техническое решение в частности реализовано в конструкции межфазного уровнемера МПУ 100. Уровнемер МПУ 100 предназначен для одновременного высокоточного измерения уровня различных жидких сред, в том числе ограниченно вязких сред, а так же уровня раздела фаз жидкостей с различными свойствами (например, границы продукт – вода, продукт – пена).

Поплавковые датчики уровня являются самым простым и недорогим решением для детектирования предельного уровня жидкостей. Вместе с тем, они также являются надежным решением и, при правильном выборе, могут использоваться для сигнализации уровня разных жидких сред от агрессивных жидкостей до обычной воды. В современной уровнеметрии новое развитие получили буйковые уровнемеры, выполненные на базе плотномеров. В основу действия буйковых плотномеров положено использование поплавков с переменным заглублением – буйков. С помощью самого плотномера можно построить зависимость значений силы тяжести буйка в зависимости от его погружения через многофазную жидкую среду и путем пересчета построить так называемый профиль плотностей.[1]

Профиль плотностей (рис.1) представляет собой зависимость текущего значения плотности среды в резервуаре в координатах плотность – уровень, т.е. $\gamma = f(h)$. Данные для построения профиля плотностей получаются вертикальным сканированием пространства резервуара при изменении глубины погружения короткого буйка от начального значения ($h=0$) до нижней точки (дна) резервуара.

Далее, необходимо аппроксимировать кривую $\gamma=f(h)$, определить её первую производную dy/dh , т.е. $grad_h \gamma$. Положения локальных максимумов кривой градиента будет соответствовать положениям границ разделов сред.

В настоящее время для контроля в технологический процесс все шире внедряют новые модели акустических (ультразвуковых) преобразователей уровня. При разработке современных ультразвуковых уровнемеров находят применение ряд оригинальных технических решений. Одним из таких примеров является датчик уровня поплавковый (ультразвуковой) ДУУ2М производства ЗАО «Альбатрос». Датчик уровня ДУУ2М предназначен для измерения уровня различных жидкостей, уровней раздела сред многофазных жидкостей (нефть – эмульсия – подтоварная вода). Датчики ДУУ2М состоят из:

- первичного преобразователя датчика;
- чувствительного элемента (ЧЭ);
- поплавок (поплавков) с постоянным магнитом, скользящего по ЧЭ.

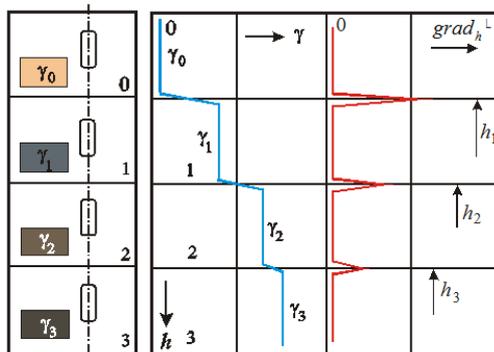


Рис. 1. Определение границ раздела сред через профиль плотностей

Датчики ДУУ2М комплектуются поплавками нескольких типов: тип I, II или IV (для контроля уровня); III или V (для контроля уровня раздела сред).

Измерение уровня датчиками ДУУ2М основано на измерении времени распространения в стальной проволоке короткого импульса упругой деформации. По всей длине проволоки намотана катушка, в которой протекает импульс тока, создавая магнитное поле. В месте расположения поплавка с постоянным магнитом, скользящего вдоль проволоки, в ней под действием магнитоstrictionного эффекта возникает импульс продольной деформации, который распространяется по проволоке и фиксируется пьезоэлементом, закрепленным на ней. Кроме того, возникает импульс упругой деформации, отраженный от нижнего конца ЧЭ датчика и принимаемый пьезоэлементом для датчиков исполнения 1. В датчиках ДУУ2М измеряется время от момента формирования импульса тока до момента приема импульсов упругой деформации, принятых и преобразованных пьезоэлементом. Это позволяет определить расстояние до местоположения поплавка, определяемого положением уровня жидкости. Датчики исполнения 0 измеряют время, прошедшее с момента формирования импульса тока до момента приема сигнала от пьезоэлемента. Это позволяет вычислить расстояние до местоположения поплавка, определяемого положением уровня жидкости, при известной скорости звука.[2]

Радиоизотопные уровнемеры используются для точного бесконтактного измерения уровня в сложных условиях технологического процесса. Радиоизотопные уровнемеры применяют для контроля уровня химически активных, вязких, липких сред, для контроля границы двух несмешивающихся жидкостей. Гамма-излучение обеспечивает простую и надежную систему неразрушающего контроля уровня жидкостей, границы раздел сред или суспензий независимо от размеров и формы резервуара. Радиационные датчики не требуют проникновения ни в объем продукта, ни в резервуар вообще.

Принцип работы преобразователя радиоизотопного основан на зависимости ослабления потока гамма-излучения от параметров контролируемой среды. Поток гамма-квантов источника излучения проникает через объект контроля с контролируемой средой и регистрируется сцинтилляционным счетчиком, который преобразует энергию гамма-квантов в электрические импульсы. Электрические импульсы, несущие информацию о параметрах контролируемой среды, поступают в блок обработки информации, где анализируются микропроцессорной схемой и преобразуются в выходные сигналы. Измерение границ раздел сред гамма-излучения при прохождении через потоки материалов различной плотности (или отражения от них).

Поскольку измерение проводится вне удерживающего жидкость резервуара, гамма-измеритель не подвержен влиянию высоких температур и давлений, коррозии, абразивов, испарений, пыли, что могло бы воздействовать на датчик, вводимый в измеряемую среду, или даже разрушить его. Несмотря на высокую эффективность, к этому методу измерения уровня обращаются в последнюю очередь из-за дороговизны и специализированных требований.

Использование приборов с радиоизотопными излучателями целесообразно там, где другие методы измерения непригодны. Однако с учетом способности радиоактивного источника пронизывать излучением типичный стальной резервуар, для работы с ним потребуются специальные разрешения, принятие мер по обеспечению радиационной безопасности обслуживающего персонала и сохранности источника, обучение операторов, поэтому это техническое решение требует тщательной продуманности и предварительной подготовки.

Радиоизотопный метод измерения уровня позволяет в условиях особо жестко заданных параметров среды внутри технологического оборудования производить контроль и измерение уровня с высокой точностью и стабильностью.

Для измерения уровня жидких сред тепловыми методами используются различия температур жидкости и парогазовой смеси над ней либо различия их теплопроводностей. Сопоставление значений коэффициентов теплопроводности жидкостей и газов показывает, что последние на порядок или два ниже (при одних и тех же температурах и давлениях). Поэтому граница раздела жидкость-газ характеризуется значительным скачком коэффициента теплопроводности, что и используется при измерении уровня жидкости. Сам процесс измерения заключается в определении теплового профиля контролируемой среды и передачи его термочувствительному измерительному преобразователю. При контроле многофазных сред основной задачей является определение положений границ их раздела.

Для построения теплового профиля контролируемой среды необходимо проводить измерение различных тепловых параметров контролируемой среды по высоте h . В качестве таких параметров могут быть приняты, например, коэффициент теплопроводности или распределение температуры вдоль подогреваемого теплового преобразователя с распределенными параметрами в виде цепочки локальных термочувствительных преобразователей «1...1», как показано на рис.2. Источник тока 2 и нагревательный элемент 3 обеспечивают нагрев всей цепочки чувствительных элементов «1..1» по высоте h . При этом датчики, расположенные в разных средах, каждый со своим коэффициентом теплопроводности, зафиксируют «свои» значения температуры. Причем, на границах раздела сред будут наблюдаться резкие изменения температуры. Таким образом, последовательный опрос выходных сигналов термочувствительных преобразователей «1..1» с помощью блока управления, обработки и отображения информации 4 позволяет измерить значения температуры t_i в заданных точках по всей высоте h и построить температурный профиль. При этом сам профиль температуры дает первую информацию о пространственном расположении границ раздела сред. При этом для повышения точности измерения положения границ раздела сред в блоке управления, обработки и отображения информации 4 дополнительно проводится аппроксимация полученной зависимости распределения температуры $t=f(h)$ и определяется распределение температурного градиента $grad_{h,t} = f'(h)$ по высоте h . Положения локальных максимумов градиента $grad_{h,t} = f'(h)$ соответствуют положениям уровней h_1 , h_2 и h_3 на примере рис.2. [1]

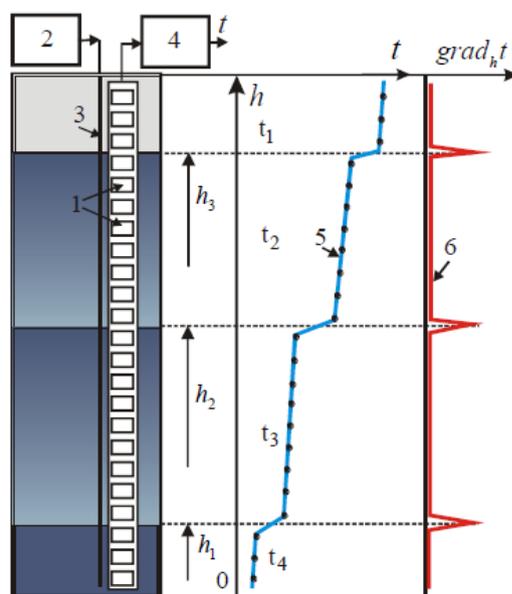


Рис.2. Профиль температур и определение границ раздела контролируемых сред

На данный момент существует множество различных методов измерения уровня. Некоторые из реализованных методов являются уникальными, другие гораздо более универсальны. Но есть методы, которые сочетают в себе уникальность и универсальность. К ним в частности относятся радиоволновые методы.

Волноводный радарный уровнемер Rosemount серии 5300 – это уровнемер для измерения уровня и уровня границы раздела жидкостей, обеспечивает высокую надежность, современные меры обеспечения безопасности, простоту использования и неограниченные возможности подключения и интеграции в системы АСУ. Принцип действия волноводного уровнемера основан на технологии рефлектометрии с временным разрешением (рис.3). Микроволновые наносекундные радарные импульсы малой мощности направляются вниз по зонду, погруженному в технологическую среду. Когда радарный импульс достигает среды с другим коэффициентом диэлектрической проницаемости, часть энергии импульса отражается в обратном направлении. Разница во времени между моментом передачи радарного импульса и моментом приема эхо-сигнала пропорциональна расстоянию, согласно которому рассчитывается уровень жидкости или уровень границы раздела двух сред. Интенсивность

отраженного эхо-сигнала зависит от диэлектрической проницаемости среды. Чем выше коэффициент диэлектрической проницаемости, тем выше интенсивность отраженного сигнала. Волноводная технология имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами измерений уровня, поскольку радарные импульсы практически невосприимчивы к составу среды, атмосфере резервуара, температуре и давлению.[3]



Рис.3 Технология рефлектометрии с временным разрешением

Для измерения уровня границы раздела сред уровнемер использует остаточную энергию импульса от первого отражения. Часть энергии импульса не отражается от поверхности верхней среды, а продолжает движение в среде, пока не отразится от поверхности нижней среды, при этом скорость распространения волны полностью зависит от диэлектрической проницаемости верхней среды.

Для каждой отрасли современной промышленности существуют свои методы и приборы контроля. При выборе уровнемера необходимо учитывать различные физические и химические свойства контролируемой среды, такие как вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность. Кроме того, следует принимать во внимание рабочие условия в резервуаре или около него. Ознакомившись с устройством и условиями эксплуатации различных уровнемеров, можно сделать выбор в пользу того или иного метода измерения уровня жидкости. При этом следует также учитывать надежность уровнемеров, их качество и стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров Б.Б. Современная уровнеметрия жидких сред: учебное пособие; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 190 с.
2. ООО "Системпромавтоматика" [Электронный ресурс] / Назначение датчика уровня ДУУ2М – Режим доступа: <http://spavt.com/katalog/urovnemer/duu2m.html>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз.рус.
3. EMERSON [Электронный ресурс] / Rosemount 5300 – высокопроизводительный волноводный радарный уровнемер. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ru/brands/rosemount/level/guided-wave-radar/5300-series/pages/index.aspx>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз.рус.

Сведения об авторах:

Ма Синсин: г. Томск, : студентка Томского политехнического университета; сфера научных интересов: мой главный интерес состоит в измерении уровня и границ раздела многофазных жидких сред.

Степанов А.Б.: старший преподаватель кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета; сфера научных интересов: уровнеметрия.

УДК 621.3.08

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ
ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ ПО ГОСТ 27893 – 88
(THE IMPACT OF WATER CONDUCTIVITY CHANGES ON MEASUREMENT RESULTS
OF CABLE CAPACITANCE PER METER GOST 27893 – 88)**

С.В. Мазиков, Г.В. Вавилова
S.V. Mazikov, G.V. Vavilova

Томский политехнический университет,
E-mail: s-mazikov@mail.ru

Тема данной работы связана с изучением влияния удельной электропроводности воды на результат изменения погонной емкости кабеля, проводимого в соответствии с ГОСТ 27893 – 88. Описанный метод применим при выходном контроле. Изменение удельной электропроводности может происходить за счет изменения температуры воды, концентрации и химического состава примеси. Актуальность данной работы заключается в том, что в ГОСТ 27893 – 88 нет никаких требований предъявляемых качеству воды, следовательно при использовании воды из разных источников нет гарантии получения достоверного результата измерения. Цель данной работы заключается в определении влияния изменения электропроводности воды на результат измерения погонной емкости. В работе были проведены эксперименты по выявлению влияния на результат изменения емкости за счет изменения концентрации поваренной соли и за счет изменения температуры воды. Таким образом, показано, что описанный в ГОСТ 27893 - 88 метод может быть реализован, только в условиях постоянства удельной электропроводности воды. При отклонении условий проведения эксперимента от указанных необходимо введение поправок, учитывающих текущее значение удельной электропроводности используемой воды.

(The theme of this work is related to the study of the influence of the electrical conductivity of water on the result of changes in capacitance per unit length of cable, carried out in accordance with GOST 27893 - 88. The described method is applicable when the output control. Changes in conductivity can occur due to changes in water temperature, density and chemical composition of the impurities. The relevance of this work lies in the fact that in GOST 27893 - 88 there are no requirements placed on the quality of water, thus using water from different sources, there is no guarantee obtaining reliable measurement results. The purpose of this work is to determine the effect of changes in the electrical conductivity of water on the result of the measurement capacitance per unit length. In this paper, experiments were conducted to identify the effect on the result of changes in capacitance due to changes in the concentration of salt and due to changes in water temperature. Thus, it is shown that described in GOST 27893 - 88 method can be realized only under constant conductivity water. In the event the conditions of the experiment indicated a need to introduce amendments that take into account the current value of the conductivity of the water used.)

Ключевые слова:

Погонная емкость, кабель, удельная электропроводность.
(Capacitance per meter, cable, conductivity.)

Введение

Качество кабельных изделий определяется соответствием определенных параметров кабеля требованиям стандартов. Одним из таких параметров является волновое сопротивление кабелей связи, радиочастотных кабелей и LAN-кабелей, и связанная с ним погонная емкость кабеля [1].

На сегодняшний день известен способ выходного контроля погонной емкости одножильного кабеля, который регламентируется ГОСТ 27893-88. Если кабель не имеет металлической оболочки, то для измерения емкости образец кабеля известной длины помещается в заземленный бак с водой. Измерение емкости производят между токопроводящей жилой и водой, в которую погружен кабель [2]. В данном случае система «вода – кабель» представляет собой цилиндрический конденсатор, одной обкладкой которого является токопроводящая жила, а другой – вода, в которую погружается образец. Следовательно, вода

является составной частью измерительной схемы и может оказывать влияние на результат измерения.

Известно, что удельная электропроводность воды может изменяться при изменении концентрации и химического состава примесей, а также при изменении температуры воды. В ГОСТ 27893-88 не указаны требования, предъявляемые воде, ее химическому составу и температуре. Поэтому, при использовании воды из разных источников нет возможности получить одинаковые результаты измерения емкости кабеля, то, конечно же, отражается на точности результатов контроля погонной емкости кабеля.

Основная часть

Цель данной работы провести анализ влияния изменения удельной электропроводности воды при проведении измерения погонной емкости в соответствии с ГОСТ 27893-88 на результат измерения емкости.

Ранее были проведены исследования о влиянии электропроводности воды на результат измерения погонной емкости кабеля при использовании электроемкостного преобразователя [3], где показано что, изменение электропроводности воды за счет изменения солености воды в диапазоне от 0 до 4 г/л приводит к появлению погрешности порядка 35% для больших значений погонной емкости близких 400 пФ/м, и порядка 70% для малых значений погонной емкости, порядка 100 пФ/м. Соответственно, при измерение емкости кабеля обязательно нужно учитывать электропроводность используемой воды.

В качестве образцов для проведения эксперимента используются отрезки одножильных кабелей длиной в 1 метр с оболочками из различных материалов. Образцы кабелей погружаются в заземленный металлический бак с водой. Один конец кабеля подключается к измерителю емкости, в качестве которого используется измеритель иммитанса АК-3000, фирмы Актакор, второй конец кабеля остается свободным. Значение погонной емкости образцов кабелей меняется в интервале от 160 пФ/м до 460пФ/м, активная составляющая комплексного сопротивления образцов приблизительно одинаковая. Действительное значение погонной емкости (табл. 1) образцов определяется в соответствии с ГОСТ 27893-88 при использовании пресной водопроводной воды комнатной температуры

Таблица 1. «Действительное значение погонной емкости»

Номер	Значение, пФ/м
C11	462,0
C14	359,1
C7	228,9
C10	168,6
C16	193,1

В процессе измерения используется последовательная эквивалентная схема замещения объекта измерения, представленная на рис. 1.

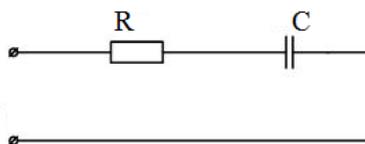


Рис. 1. «Последовательная RC цепь»

В первой части эксперимента изменение удельной электропроводности воды обеспечивается за счет изменения концентрации примесей. Для этого в изначально пресной водопроводной воде комнатной температуры (20 °С) растворяется поваренная соль NaCl. Концентрация соли λ изменяется в диапазоне от 0 до 4 г/л. Температура воды поддерживается постоянной в пределах нормальных условий.

Результаты измерения погонной емкости при различной концентрации соли представлены на рис. 2.

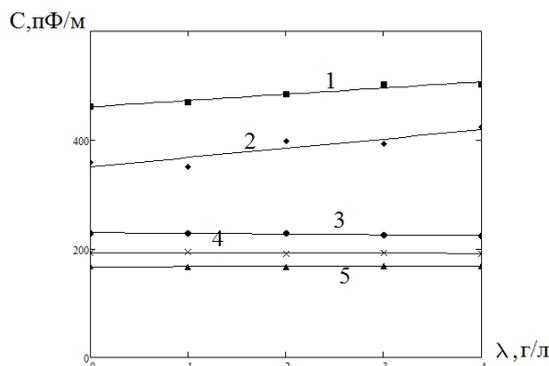


Рис. 2. «Зависимость результата измерения погонной емкости кабеля C от солёности воды λ »: 1-емкость кабеля C11, 2-емкость кабеля C14, 3-емкость кабеля C7, 4-емкость кабеля C10, 5-емкость кабеля C16

Анализ зависимостей (рис. 2) показывает, что изменение удельной электропроводности воды за счет изменения солёности оказывает значительное влияние на результат измерения емкости. С увеличением концентрации соли в воде погонная емкость кабеля прямопропорционально увеличивается. Отклонение измеренной емкости от действительного значения для разных образцов кабелей колеблется в диапазоне от 1% до 2,5% при концентрации соли 1г/л; в диапазоне от 4% до 10% при концентрации соли 2 г/л; в диапазоне от 5% до 10% при концентрации соли 3 г/л; в диапазоне от 15% до 18% при концентрации соли 4 г/л. Следовательно, применение, описанного в ГОСТ 27893-88, метода измерения емкости возможно только при использовании пресной воды, комнатной температуры, в остальных случаях необходимо учитывать электропроводность воды и вводить поправку в результат измерения емкости.

Во второй части эксперимента изменения удельной электропроводности обеспечивается за счет изменения температуры воды. Концентрация примесей в водопроводной воде не изменяется.

В качестве начальных условий используется водопроводная пресная вода, температура которой составляет 13 градусов по Цельсию. Эксперимент проводится по такой же схеме и с применением тех же образцов кабелей, как и при изменении электропроводности воды за счет изменения концентрации соли. Изменение температуры воды обеспечивается добавлением в бак горячей воды. Измерения проводятся при температуре воды 20, 30, 40 °С. Результаты данного эксперимента приведены на рис. 3.

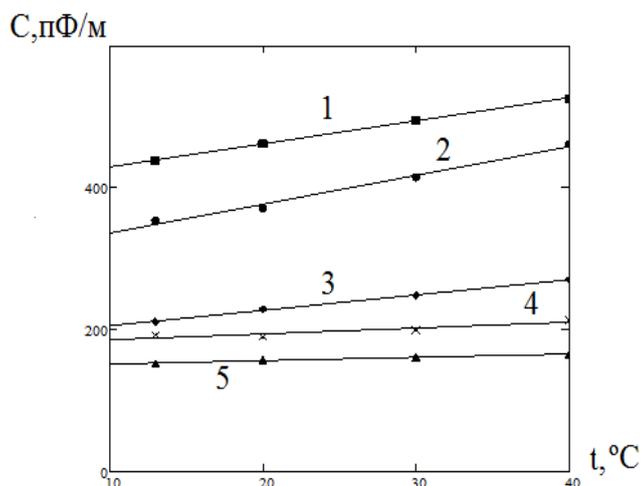


Рис. 3. «Зависимость влияния температуры воды на результат измерения погонной емкости»: 1- емкость кабеля C11, 2-емкость кабеля C14, 3-емкость кабеля C7, 4-емкость кабеля C10, 5-емкость кабеля C16

При анализе зависимостей (рис. 3) можно сделать вывод, что при увеличении температуры наблюдается значительное изменение погонной емкости кабеля. Отклонения измеренной емкости от действительного значения для разных образцов кабелей колеблются в диапазоне от 3% до 7% при температуре воды 13 °С; в диапазоне от 5% до 10% при температуре воды 30 °С; порядка 15% при температуре воды 40 °С. Следовательно, применение, описанного в ГОСТ 27893-88, метода измерения емкости возможно только при обеспечении нормальных условий (20 °С). При других условиях эксперимента нет возможности получить достоверный результат.

Заключение

Таким образом, показано, что на изменение удельной электропроводности воды влияет изменение температуры воды, концентрации и химического состава примесей, так как в ГОСТ 27893 – 88 не указаны условия проведения эксперимента. Описанный в ГОСТ метод может быть реализован, только при использовании пресной водопроводной воды температурой 20 °С. При отклонении условий проведения эксперимента от указанных необходимо введение поправок, учитывающих текущее значение удельной электропроводности используемой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 11326.0-78. Радиочастотные кабели. Общие технические условия. [Текст] – Введ. 1981-01.01. – М.: Изд-во стандартов, 2003.– 35 с.
2. ГОСТ 27893–88 (СТ СЭВ 1101–87). Кабели связи. Методы испытаний. [Текст] – Введ. 1990-01.01. - с измен. 2015-01-16. - Режим доступа: URL: <http://meganorm.ru/Index/11/11797.htm> /, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения 01.04.2015)
3. Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В. Отстройка от влияния изменения электропроводности воды на результаты технологического контроля погонной емкости электрического кабеля.– Ползуновский вестник, 2013 – № 2. – С. 146–150.

Сведения об авторах:

Мазиков С. В.: студент кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля, Томский политехнический университет ФГАОУ ВО НИ ТПУ, тел. 8-9539224845, e-mail: s-mazikov@mail.ru.

Вавилова Г. В.: ст. преподаватель кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля, Томский политехнический университет ФГАОУ ВО НИ ТПУ, тел. 8-9069471937, e-mail: wgw@tpu.ru

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ САХАРА В КРОВИ (NONINVASIVE METHODS OF MEASUREMENT OF SUGAR IN BLOOD)

М.А. Мезенцева, Т.А. Букрина*
M. A. Mezenseva, T. A. Bukrina

Томский политехнический университет
Кафедра информационно-измерительных технологий
E-mail: maria300592@mail.ru;
tanya_bukrina@mail.ru

Рассмотрены все методы неинвазивных измерений параметров крови, а так же их преимущества, предложено конструктивное исполнение прибора.
(All methods of noninvasive measurements of parameters of blood, and also their advantages are considered, the device design is offered.)

Ключевые слова:

Сахарный диабет, неинвазивный, глюкоза, мониторинг, глюкометр, спектроскопия, оптический метод.

(Diabetes, noninvasive, glucose, monitoring, glucometer, spectroscopy, optical method.)

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на 2010 год количество больных диабетом составляло более 284,6 млн. человек, это 6% населения в возрасте от 20 до 79 лет. К 2030 году общее количество больных достигнет 438,4 млн. человек. В России в 2010 году было зарегистрировано более 9,6 млн. больных с СД. К 2030 году ожидается что число больных в России составит 10,3 млн. человек. Сахарный диабет входит в тройку заболеваний, наиболее часто приводящих к инвалидизации населения и смерти. Почти половина случаев смерти от диабета происходит среди людей в возрасте до 70 лет; 55% случаев смерти от диабета происходит среди женщин. Более 50% людей с сахарным диабетом не знают о своем состоянии. В некоторых странах процент неосведомленности достигает 80%. Почти 80% случаев смерти от диабета происходит в странах с низким и средним уровнем дохода. По прогнозам ВОЗ, за период 2010-2030 гг. число случаев смерти от диабета удвоится.

Уход за больными и лечение диабета (DCCT) показали, что более частый контроль глюкозы и инсулина в крови может предотвратить многие из долгосрочных осложнений сахарного диабета. Пациентам с сахарным диабетом рекомендуется проводить самоконтроль сахара крови ежедневно несколько раз в день (как минимум перед основными приемами пищи и перед сном, а также периодически после еды).

Определение уровня глюкозы крови — один из самых распространенных тестов, выполняемых клинико-диагностическими лабораториями. Причина исключительной популярности теста связана с высокой заболеваемостью сахарным диабетом. Данный тест выполняется как в условиях стационара, так и в поликлиниках. Больные сахарным диабетом вынуждены исследовать уровень глюкозы в крови в домашних условиях, поскольку без этой информации им трудно скорректировать свою диету, физические нагрузки, применение инсулина и других сахароснижающих препаратов.

В настоящее время измерения глюкозы производятся путем прокалывания пальца и извлечения капли крови, которая применяется к тест-полоски, состоящей из химических веществ, чувствительных к глюкозе в образце крови. Оптический измеритель (глюкометр) используется для анализа пробы крови и дает числовое значение содержания глюкозы .

1. Классификация глюкометров.

Фотометрические. Уровень глюкозы в крови человека определяется в зависимости от окраски тест-зоны. Окраска возникает как реакция глюкозы и специального вещества, которое

нанесено на полоску. Технология этих приборов, разработанных достаточно давно, уже немного устарела.

Электромеханические. Показатель уровня сахара измеряется величиной тока. Она появляется при взаимодействии глюкозы и специальных веществ в тест-полосках. Это новые поколения приборов, показания глюкометра этого типа будут немного точнее, чем предыдущего. Эти приборы подвержены минимальному воздействию внешних факторов. Обычно в таких приборах идет калибровка по плазме.

Методы определения глюкозы достаточно разнообразны :

- Методы «мокрой» биохимии, реализованные на автоматических биохимических анализаторах, обеспечат нужды лабораторий с большим потоком анализов.

- Анализаторы глюкозы типа Biosen требуют от оператора минимальных трудозатрат, так как они полностью автоматизированы и достаточно производительны (скорость от 50 до 200 проб в час).

- Для лабораторий с небольшим числом исследований, а также экспресс-лабораторий удобен специализированный биохимический фотометр Микролаб 540.

- Для бригад скорой помощи, пациентов с диабетом идеальное решение - глюкометры типа One Touch.

Т.о., задача обеспечить не только быстрое, но и высокоточное определение глюкозы, на сегодняшний день вполне решаема, в то же время измерение таким путем требует больших затрат, так как тест-полоски необходимые больному ежедневно будут стоить около \$ 183.00 в год, т.е. ежегодные расходы пациентов с диабетом, которые требуют нескольких измерений за день (пожилые люди и дети и т.д.) будут гораздо выше.

1.1 Неинвазивный глюкометр.

В обширном арсенале современных методов лабораторной и функциональной диагностики, основанных на оценке морфологических, функциональных, биохимических и генетических параметров организма, неинвазивные методы занимают пока еще довольно скромное место.

Между тем, в медицине будущего роль неинвазивной диагностики будет неуклонно возрастать. Определяется это следующими основными моментами. Неинвазивные методы:

- 1-исключают внесение во внутреннюю среду организма болезнетворных вирусов и бактерий, чужеродных веществ (ксенобиотиков);

- 2-позволяют исключить лучевую нагрузку на организм, например, при проведении рентгенологических, радиоизотопных и ультразвуковых методов исследования;

- 3-освобождают пациента от комплекса болевых и неприятных ощущений;

- 4-неинвазивные методы, основанные на использовании сенсорных и передающих сигналы устройствах, позволяют решить две крупные медико-социальные задачи: мониторинг основных биохимических и функциональных показателей и создание дистанционных аларм-систем. Последние могут оказаться весьма полезными в качестве средства постоянного слежения из центра, например из больницы или поликлиники, за определенными группами больных (больными с опасностью внезапной кардиальной смерти, гипертонической болезнью, сахарным диабетом и др.) и оказания своевременной помощи при наступивших критических состояниях.

При неинвазивных методах контроля уровня глюкозы кроме крови как образец исследования используют тканевую жидкость, глазную жидкость, слюну, мочу, пот.

В настоящее время разрабатываются контактные линзы, которые с помощью специального сенсора измеряют уровень глюкозы не в крови, а в слезах. Причем, они могут делать это постоянно (мониторить уровень глюкозы), разработчики также собираются встроить в линзу светодиодный сенсор, который будет предупреждать человека при достижении опасного уровня глюкозы. Линзы смогут передавать данные на смартфон, чтобы врач мог ознакомиться с динамикой выздоровления пациента.

В разработке сенсора использованы последние научные технологии. Прибор состоит из графеновых нанолентов, к краям которых прикреплены платиновые наночастицы, выполняющие функцию электродов. Также в аппарате находятся молекулы фермента глюкозооксидазы.

Чувствительность устройства позволяет определить глюкозу в анализируемых жидкостях в концентрации 0,3 микромоль.

Кроме того, разработчики утверждают, что их сенсор стоит дешевле других подобных устройств, созданных с применением нанотехнологий.

По словам учёных, сенсор можно также использовать для определения уровня алкоголя в крови или для мониторинга состояния пациентов с болезнью Паркинсона или Альцгеймера — достаточно изменить глюкозооксидазу на другой фермент.

Исследования показали, что уровни сахара в слюне пропорциональны уровню сахара в крови, таким образом, открывается новый уникальный и безболезненный метод диагностики уровня сахара. Отличительной особенностью является то, что в слюне уровень сахара ниже чем этот же уровень в крови (около 100-2000 раз), что делает использование слюны в диагностике очень сложным. Обычные глюкометры не могут обнаружить такие малые концентрации, и, следовательно, для таких измерений требуются более чувствительные устройства.

Определение содержания глюкозы в моче не является достаточно достоверным тестом, т.к. глюкозурия зависит от ряда факторов, в частности от "порога проводимости" глюкозы почками, который может варьировать с возрастом, меняться в течение суток, не отражая истинного уровня глюкозы в крови.

Попытки установить корреляцию между гликемией и содержанием глюкозы в коже предпринимались рядом авторов. Так, Miller D.J. et al. (Diabetes, 1960, 9, 48), а затем Kelly M.W. et al. (Diabetes, 1963, 12, 50) использовали глюкозо-оксидазные полоски, которые после предварительного смачивания прикладывали на предплечье или между пальцами. Тест считали положительным, если цвет полоски менялся и отрицательным, если цвет полоски не менялся. При этом авторы наблюдали как ложно положительные, так и ложно отрицательные результаты и пришли к заключению, что такой способ не пригоден для диагностики диабета. Lais N. et al. (Diabetes, 1963, 12, 53) проводили определение глюкозы на поверхности кожи аналогичным методом, после удаления stratum corneum и stratum laticum (слои эпидермиса, которые по их мнению, являются барьером для проникновения воды на поверхность). Эти авторы наблюдали позитивную реакцию только тогда, когда концентрация глюкозы в крови превышала 170 мг%.

Авторы предлагают неинвазивный способ определения уровня гликемии, по содержанию глюкозы в поте, исключает риск инфицирования и устраняющего болевые ощущения, возникающие при взятии крови при инвазивной диагностике. Предлагаемый способ заключается в том, что определение содержания глюкозы проводят в поте, усиленное выделение которого вызывают введением в кожу пациента парасимпатомиметика в сочетании с антихолинэстеразным препаратом, повышающим эффективность потоотделения, методом ионтофореза.

Способ осуществляется следующим образом. У пациента потоотделение вызывали одним из потогенных препаратов - парасимпатомиметиком - (пилокарпином, ацетилхолином или каким-либо другим препаратом из этой группы веществ), в сочетании с антихолинэстеразным препаратом - (прозерин, физостигмин или каким-либо другим препаратом из этой группы веществ), взятых в отношении 1:1 по объему. Препараты вводили в кожу методом ионтофореза, применяя ток плотностью 0,25-1,0 мА/см² в течение 5-15 мин. Предварительно участок кожи (предплечье или ладонь) тщательно промывали мыльной водой и затем обрабатывали 50%-ным раствором этилового спирта. Введение 0,1%-ного раствора пилокарпина (или 0,02%-ного раствора ацетилхолина) в сочетании с 0,5%-ным раствором прозерина (или 0,5%-ным раствором физостигмина) сопровождалось появлением под анодом (или вокруг него) пота, который скапливался в течение 5-10 мин под пластмассовой чашечкой, плотно прижатой к коже и затем собирался количественно микропипеткой. Использованные концентрации парасимпатомиметиков и антихолинэстеразных препаратов были минимальными для достижения получения необходимого для анализа объема пота. Содержание глюкозы в поте, и для сравнения, - в крови определяли глюкозооксидазным методом. Содержание глюкозы в крови определяли с помощью стандартных наборов фирмы "Лахема". При определении содержания глюкозы в поте (из-за низкого содержания глюкозы в нем) требовалось усиление интенсивности окрашивания раствора, которое достигалось

использованием хромогенного субстрата для пероксидазы - ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), обладающего высоким коэффициентом экстинкции, и максимально повышающим чувствительность метода. Это давало возможность определять концентрацию глюкозы от 0,2 мг% и выше

Коэффициент корреляции между концентрациями глюкозы крови и пота всех обследованных больных равен 0,7. Таким образом, из представленных данных видно, что уровень глюкозы в поте, определяемый количественно, благодаря предложенному способу усиленного потоотделения, коррелирует с содержанием глюкозы в крови. Это дает возможность, определяя глюкозу в поте описанным методом, избежать определения содержания глюкозы в крови, имея при этом возможности судить об уровне гликемии.

Способ определения уровня гликемии путем определения содержания глюкозы в биологической жидкости, отличающийся тем, что определение содержания глюкозы проводят в поте, усиленное выделение которого вызывают введением в кожу пациента парасимпатомиметика в присутствии антихолинэстеразного препарата, в соотношении 1 : 1 по объему, методом ионофореза и при концентрациях глюкозы в пределах $1,3 \pm \text{мг}\%$ констатируют нормогликемию, а при концентрациях ниже и выше этого предела соответственно гипо- и гипергликемию. Минус метода заключается в необходимости стимуляции потоотделения у пациента, что невозможно при многократном контроле гликемии в течение суток или при экстренном контроле гликемии, а также в необходимости использования тест полосок.

Неинвазивные методы мониторинга гликемии могут быть сгруппированы как подкожный, кожный (дермальный), эпидермальный и комбинированный кожный (дермальный) и эпидермальный метод измерения глюкозы.

Образцы исследования в настоящее время берут из кончиков пальцев, кутикулы, подушечек пальцев, предплечья и мочки уха.

Подкожные измерения включают микродиализ, капиллярное исследование, и введение электрохимических или конкурентных флюоресцентных сенсоров.

Согласно результатам исследования, опубликованным в журнале «Analytical Chemistry» Американского химического общества (American Chemical Society — ACS), ученым удалось разработать ультратонкое и гибкое устройство, которое прочно крепится к коже, не вызывая каких-либо нежелательных реакций с ее стороны и по внешнему виду напоминает тату. Принцип действия прибора состоит в ионофоретической экстракции глюкозы из интерстициальной жидкости непосредственно на амперометрический биосенсор, что позволяет точно и безболезненно определить уровень глюкозы в крови.

Как отмечают авторы исследования, данный прибор позволит проводить не только точный и своевременный гликемический контроль, но и анализ других биомаркеров, находящихся в интерстициальной жидкости.

Вставить про CGSM (мониторинг гликемии), липучку глюкометр, имплантируемый датчик.

Микродиализ также является разрабатываемой дермальной и эпидермальной техникой измерения глюкозы. Также эпидермальные измерения могут быть проведены с помощью ИК-спектроскопии.

Комбинированные кожные(дермальный) и эпидермальные жидкостные измерения уровня глюкозы включает метод оптической техники.

1.1.1 Оптические методы неинвазивной диагностики

Они предполагают использование оптического (в том числе лазерного) излучения для зондирования тканей и органов пациента с целью получения по отраженному (рассеянному) или прошедшему ткань насквозь свету диагностической информации о биохимическом составе и морфологическом строении обследуемого участка мягких тканей тела пациента. Величина регистрируемого при этом сигнала зависит как от коэффициента поглощения, так и от коэффициента рассеяния света перфузированной кровью ткани. Основной вклад в поглощение определяется водой (H₂O), протеином, липидами, различными формами гемоглобина (в частности, окси-, дезокси-гемоглобином), меланином в коже, в том числе глюкозой). Пропускание света на каждой длине волны является функцией толщины, цвета и структуры кожи, кости, крови и других материалов, через которые проходит свет.

Концентрацию глюкозы может быть определена с помощью анализа изменения оптического сигнала по длине волны, поляризации или интенсивности света. Объем образца измеряют с помощью этих методов зависит от места измерения. Корреляция с глюкозы в крови на основе процента от образца жидкости, которое интерстициальный, внутриклеточный или капиллярной крови. DRS. Рой и Smoller [4] разработали следующий пример. Жидкость рассматриваемая через конечности на 63% внутриклеточная и 37% внеклеточная, из которых 27% являются интерстициальной и 10% плазмой. Значение глюкозы в крови 100 мг / дл эквивалентно образцу тканевой глюкозы в среднем 38 мг / дл, из которых 26% обусловлено значением крови, 58% из-за интерстициальной жидкости и 16% из-за глюкозы внутриклеточной жидкости.

Мало того, что оптическое измерение степени зависит от изменения концентрации во всех отсеках тела, измеренной, но изменения в соотношении тканевых жидкостях (в измененной по уровню активности, питания или гормонов колебаний), а это, в свою очередь, эффектов измерения глюкозы. Проблемы также возникают из-за изменений в ткани после первоначальной калибровки и отсутствием возможности передачи калибровки от одной части тела к другой. Изменения тканей включают в себя: изменения объема циркулирующей крови, лекарства, которые влияют на соотношение количества тканевой жидкости, изменения артериального давления, процесс старения, болезней и метаболической активности человека.

Оптические методы включают ближней инфракрасной спектроскопии, инфракрасной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния света, фотоакустической спектроскопии, разброс и изменения поляризации

Таблица 1. Оптические методы измерения глюкозы

Метод	Определение
Ближняя инфракрасная спектроскопия (NIR)	Поглощения или излучения данных в 0,7 до 2,5 мкм области спектра по сравнению с известными данными для глюкозы.
спектроскопия комбинационного рассеяния Raman Spectroscopy	Лазерный свет используется, чтобы вызвать излучение переходов вблизи уровня колебания
Photoacoustic Spectroscopy Фотоакустическая спектроскопия	Лазерное колебание жидкости используется для генерации звукового отклика и настройки лазерного спектра.
Scatter Changes изменения рассеивания	Рассеивание света может быть использовано для указания на изменение в исследуемом материале.
Polarization Changes Поляризационные изменения	Наличие глюкозы в жидкости, как известно, вызывают поляризацию в проходящем свете.
Mid-Infrared Spectroscopy Mid-Инфракрасная спектроскопия	Проводят анализ Поглощения или излучения данных в области 2,5 мкм - 25 мкм и используют для количественного измерения уровня глюкозы в жидкости.

1.1.2 Методы оптического измерения глюкозы.

Стратегии оптического измерения глюкозы в жидкости. (в биологической жидкости)

2. Ближняя инфракрасная спектроскопия (NIR)

Метод инфракрасной спектроскопии является универсальным физико-химическим методом, который применяется в исследовании структурных особенностей различных органических и неорганических соединений. Метод основан на явлении поглощения группами атомов испытуемого объекта электромагнитных излучений в инфракрасном диапазоне. Поглощение связано с возбуждением молекулярных колебаний квантами инфракрасного света. При облучении молекулы инфракрасным излучением поглощаются только те кванты, частоты которых соответствуют частотам валентных, деформационных и вибрационных колебаний молекул. Глюкоза производит одно из самых слабых сигналов поглощения электромагнитных излучений в инфракрасном диапазоне среди большинства концентрации основных компонентов тканей. Измерение глюкозы методом ИК ВОЗМОЖНО НА глубинУ ткани в диапазоне от 1 до 100 мм, ПРИ общЕМ уменьшении глубины проникновения увеличивается значение длины волны. Передача инфракрасного излучения проводили через мочку уха, палец ,

кожу предплечья и слизистой губы была сделана попытка в ИК области между 1000 нм до 2500 нм. Результаты ИК измерений диффузного отражения выполнены на пальце показали хорошую корреляцию с уровнем глюкозы в крови, но 10% измерений не являются клинически достоверными.

Диффузные отражения исследования слизистой губы также показали хорошую корреляцию с глюкозой крови, и указал задержку во времени 10 минут между уровнем глюкозы в крови и измерительного сигнала. Физические и химические параметры, такие как изменения давления, температуры, изменения уровня триглицеридов и альбумина влияли на погрешность измерения глюкозы. Ошибки могут возникать из-за экологических изменений, таких как изменения температуры, влажности, увлажнения кожи, диоксида углерода и атмосферное давление. Таким образом, измерение глюкозы требует персонального тестирования для каждого пациента.

3. Инфракрасная спектроскопия

Системы измерения ИК глюкозы на поверхности эпидермиса позволяют исследовать глубины ткани в диапазоне от 10 до 50 мкм при использовании полосы длин волн в ИК-области от 700 до 1000 нм [7]. Этот метод не позволяет измерять уровень глюкозы в тканях, но может быть использован для слизистой оболочки полости рта, недостаток метода заключается во влиянии на показания измерения приема пищи и разный уровень саливации у пациентов.[8]. Кроме того, уровень глюкозы в слюне значительно варьируется и не коррелирует с уровнем глюкозы в крови [4].

4 Спектроскопия комбинационного рассеяния

Суть метода заключается в регистрации спектральных линий излучения, рассеянного образцом (в твердой, жидкой или газообразной фазе). Эти спектральные линии, отсутствующие в спектре первичного (возбуждающего) излучения, соответствуют определенным колебаниям групп атомов. Это позволяет определить наличие определенных функциональных групп по характеристическим частотам колебаний их фрагментов. Метод был применен для определения глюкозы в образцах крови, воды, сыворотки и плазмы, но многочисленные проблемы не позволяют применять его у пациента. Аналитические проблемы заключаются в нестабильности длины волны и интенсивности лазерного излучения, также погрешности измерения создают другие химическими вещества в образцах ткани и длинных спектральных время обнаружения long spectral acquisition times.

5. Фотоакустическая спектроскопия (ультразвуковая технология)

Ультразвук сравнительно легко проникает через кожу в кровеносные сосуды. Могут применяться лазеры от ультрафиолета до ИК диапазона. В этом случае наблюдается фотоакустический эффект: звуковые колебания возбуждаются модуляцией лазерного излучения в жидкости и воспринимаются микрофоном. Определение глюкозы в крови, тканевых образцах и у человека, может обеспечить более высокую чувствительность, чем обычная спектроскопия, при условии, что учитываются определенные физические параметры. Получена достоверная корреляция между уровнем фотоакустического сигнала и уровнем глюкозы в крови, при проведении исследования на указательных пальцах здоровых пациентов и больных сахарным диабетом. Приборы в настоящее время производят на заказ, они дороги и чувствительны к параметрам окружающей среды. На результаты измерения оказывают влияние химические интерференции биологических молекул, а также физические интерференции в виде изменения температуры тела, параметров артериального давления.

6. Впектроскопия резонансного рамановского рассеяния (RRS — Resonance Raman scattering) (Scatter Changes)

В спектроскопии резонансного рамановского рассеяния (RRS — Resonance Raman scattering) частота лазерного излучения подбирается в соответствии с электронными переходами в молекуле или кристалле, которые отвечают возбужденным электронным состояниям. Такой подход позволяет получить высокую интенсивность рассеяния при отсутствии нежелательных флуоресцентных помех, частота которых ниже частоты возбуждающего излучения. Метод применялся для определения глюкозы в образцах ткани и непосредственно у пациентов. Измерения на брюшной полости у больных сахарным диабетом показали превосходную корреляцию между разбросом сигнала и уровнем глюкозы в крови [12]. Многие

физиологические параметры влияют на появление флуоресцентных помех, что влияет на изменения параметра рассеяния и качество измерения глюкозы.

7. Поляризационные изменения

Это изменение плоскости поляризации в зависимости от концентрации глюкозы. Хотя изменение оптического сигнала с помощью глюкозы мала, глюкоза является хорошим оптическим ротатором. Эта характеристика была использована, чтобы проводить анализ уровня глюкозы *in-vitro* Один из первых методов, предложенных для неинвазивных методов контроля гликемии, причем для измерений использовались кожа мочки уха, глаз и видимый свет.

Недостаток метода - наличие, кроме глюкозы, других веществ, также изменяющих поляризацию света, влияние температуры и роговицы глаза, pH образца. Учесть все эти факторы оказалось весьма непросто.

Выводы

В настоящее время сахарный диабет занимает третье место среди причин высокой инвалидности и смертности больных после сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Несмотря на прогресс в медицине количество больных сахарным диабетом непрерывно растет. Каждые 12—15 лет число больных диабетом в среднем удваивается. В 2010 г. количество больных СД превышало 230 млн человек, и это люди которые самостоятельно обратились к врачу (регистрируемая распространенность). Основная масса больных СД типа 2 остается неучтенной, поскольку вследствие невыраженных жалоб или их отсутствия больные не посещают врача. По данным выборочных эпидемиологических исследований, проведенных в развитых странах мира, на одного обратившегося к врачу больного приходится 3—4 человека, не подозревающих о наличии у них СД. Аналогичные результаты получены и в отношении распространенности сосудистых осложнений при СД типов 1 и 2.

Регулярное измерение уровня глюкозы в крови требуется при всех типах сахарного диабета. Так, интенсивная инсулинотерапия при сахарном диабете 1 типа подразумевает определение уровня глюкозы в крови 5–6 раз в сутки. Традиционная инсулинотерапия при диабете 1 типа — 2–3 раза в неделю. При инсулинонезависимом гестационном сахарном диабете проводить измерение рекомендуется не реже 3 раз в сутки. Регулярность измерения глюкозы при наличии инсулинотерапии у людей с СД 2 индивидуальна. Проведение вышеперечисленных измерений для определения уровня глюкозы доступно человеку в домашних условиях и играет важную роль в оценке эффективности проводимой терапии. В силу того что полученные показатели имеют значение только в момент измерения (под воздействием ряда факторов показатель глюкозы в крови может меняться), для наиболее точной оценки результативности проводимых терапевтических мер.

Задача обеспечить не только быстрое, но и высокоточное определение глюкозы, на сегодняшний день вполне решаема, в то же время измерение таким путем требует больших затрат, так как тест-полоски необходимые больному ежедневно будут стоить около \$ 183.00 в год, т.е. ежегодные расходы пациентов с диабетом, которые требуют нескольких измерений за день (пожилые люди и дети и т.д.) будут гораздо выше.

В последние годы получили развитие поиски замены инвазивной технологии неинвазивной без нарушения целостности кожи. Неинвазивные методы измерения концентрации глюкозы в крови, основанные на использовании отличия ее оптических и химических свойств и корреляционной связи уровня глюкозы с различными показателями жизнедеятельности человека.

Во всех неинвазивных оптико-электронных приборах используется источник широкополосного импульсного излучения с дальнейшим анализом поглощения света на определенной длине волны за счет узкополосных интерференционных фильтров и отдельных фотоприемников. Недостатком данного метода является разброс чувствительности фотоприемников, а потом необходимы перед каждым измерением проводить калибровку прибора.

Предложен комбинированный прибор, что позволяет одновременно измерять три параметра: билирубин ($\lambda = 0.46$ мкм), гемоглобин ($\lambda = 0.55$ мкм) и глюкоза ($\lambda = 0.94$ мкм), по отношению к коже $\lambda = 0.7$ мкм. С помощью одного пространственного линейного фоточувствительного прибора зарядовой связью (ФПЗС) на рис.1 Приведена структурная схема прибора, в состав которого входят оптикоэлектронный блок(11), блок обработки

информации (12), блок индикации на жк-индикаторе и блок питания со стабилизатором от пяти аккумуляторов. Оптико-электронный блок состоит из волоконного факона (3), интерференционных фильтров (4-7), линейного ФПЗС (9), светофильтра (8), который обрезает ультрафиолетовые и инфракрасные излучения, лампы-вспышка с отражателем (10).

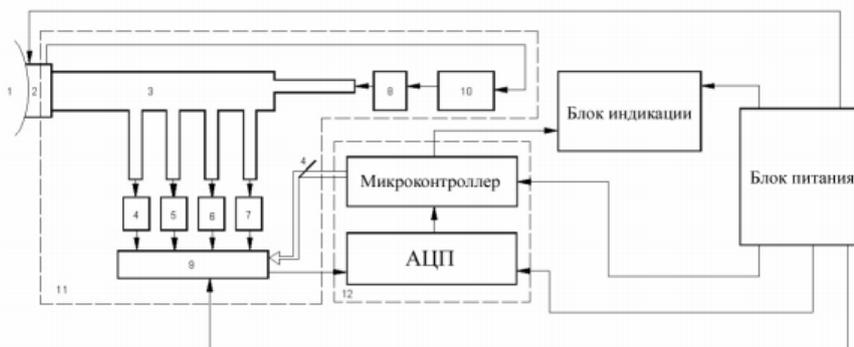


Рис. 1. Структурная схема гемобилиглюкометра: 1 – исследуемый участок кожи; 2 – подвижное приспособление; 3 – оптоволоконно; 4–8 – светофильтры; 9 – приемник излучения; 10 – источник излучения; 11 – оптический блок; 12 – полупроводниковый блок

Блок обработки информации состоит из микроконтроллера и аналогово-цифрового преобразователя. Микроконтроллер предназначен для управления линейным ПЗС, а также для проведения необходимых вычислений по результатам измерений. Процесс измерения заключается в следующем: прибор приставляется волоконным датчиком к коже пациента, срабатывает лампа-вспышка, и широкополосное излучение через передаточный волоконный канал направляется в кожу пациента. Рассеянный и отраженный оптические сигналы через приемные каналы волоконного факона и интерференционные фильтры направляются на линейки ПЗС. Крепления волоконного факона, фильтров и линейного ПЗС осуществляется методом оптического склеивания. Информация из выхода микроконтроллера поступает на ЖК-индикатор, где высвечивается значение измеряемых параметров в абсолютных величинах: билирубин 0–400 мкмоль/л, гемоглобин 0–300 г/л, глюкоза 0–40 моль/л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Н.М. Heise, R. Marbach, G. Janatsch, J.D. Kruse-Jarres, "Determination of Glucose in Whole Blood Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy," Anal. Chem. 1989: 61, 2009-2015.
2. А.Д.Эльбаев, Х.А.Курданов, А.Д.Эльбаева "Диагностические аспекты взаимосвязи параметров гемодинамики и уровня глюкозы в крови", журнал "Клиническая физиология кровообращения", 2006, N 3, стр. 15-20.
3. Д.Фрегер, Г.Авнер, А.Райхман "Метод мониторинга уровня глюкозы", патент N 6954662; подан 19.08.2003, получен 11.10.2005 (см. http://www.google.ru/patents/about/6954662_Method_of_monitoring_glucose_lev.html?id=dhwVAAAAEBAJ).
4. G. Freiherr, "The Race to Develop a Painless Blood Glucose Monitor," Medical Devices and Diagnostic Industry Magazine 1997: March 58-64.
5. Нормальная физиология: Учебник для студентов университетов / А.В. Коробков, А.А. Башкиров, К.Т. Ветчинкина / Под ред. А.В. Коробкова. – М.: Высшая школа, 1980. – 560 с.
6. Назаренко Г.И., Кишкун А.А. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований. – М., 2005.
7. Козлов В.И. Взаимодействие лазерного излучения с биотканями // Сборник трудов «Применение низкоинтенсивных лазеров в клинической практике» / Под ред. О.К. Скобелкина. – М.: ГНИЦ лазер- ной медицины, 1997. – С. 24–34.

Сведения об авторах:

Мезенцева М. А.: г. Томск, студент, Томский политехнический университет, e-mail: maria300592@mail.ru, 8 952 154 47 64

Букрина Т А.: г. Томск, студент, Томский политехнический университет, e-mail: tanya_bukrina@mail.ru

УДК 621.382.2/.3

**ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ
(SOFTWARE AND HARDWARE FOR SEMICONDUCTOR GAS SENSOR SYSTEM)**

Т.Р. Муксунов, И.Ю. Кузьменко, В.П. Якубов
T.R. Muksunov, I.Y. Kuzmenko, V.P. Yakubov

Томский государственный университет
Email: TOSnakeOMR@yandex.ru

Полупроводниковые газовые сенсоры могут быть использованы для контроля качества плодоовощной продукции. При помощи разработанного газоанализатора выявлена зависимость между временем хранения и выделением таких газов, как аммиак и сероводород. Для повышения точности измерений были разработаны программные и аппаратные решения для работы с системой газовых сенсоров. (Semiconductor gas sensors can be used for fruits and vegetables quality control. Using of gas analyzer allowed to discover dependence between storage period and producing of such gases as ammonia and hydrogen sulphide. Hardware and software was designed for measurement precision improvement.)

Ключевые слова:

Полупроводник, газ, сенсор, измерения, регулировка.
(Semiconductor, gas, sensor, measurement, regulation.)

При транспортировке плодоовощной продукции транспортным компаниям необходимо в режиме реального времени контролировать состояние (степень свежести) перевозимого груза. В настоящее время подобная проверка производится органолептическими методами, то есть, при приемке товара проводится оценка таких параметров, как запах, цвет, форма. Для ее осуществления человек пользуется своими собственными органами чувств. В связи с отсутствием инструментальных средств невозможно добиться нужной степени точности и объективности. Ошибки, допущенные при определении срока хранения плодоовощной продукции, приводят к его порче в складских помещениях. Кроме того, знание срока хранения необходимо для определения очередности реализации разных партий товара. В этом случае допущенная ошибка означает, что продукция с длительным сроком хранения будет отправлена на реализацию, в то время как продукция с низким сроком придет в негодность на складе.

Необходимость компенсации подобных издержек означает повышение стоимости продукции для конечных потребителей.

В ходе экспериментов доказано преимущество использования газоанализатора перед органолептическими методами: газоанализатор позволяет провести сортировку плодоовощной продукции, являющейся идентичной при визуальной и тактильной проверке.

Было принято решение о целесообразности продолжения исследований в данной области. Была признана необходимость проведения сбора статистических данных по различным видам плодоовощной продукции для создания электронной экспертной системы оценки. Для его осуществления было принято решение о проведении доработки и усовершенствования мультисенсорной системы, как в программной, так и в аппаратной части.

Для оценки качества плодоовощной продукции было предложено использовать полупроводниковые газовые сенсоры. В основе работы полупроводниковых газовых сенсоров лежит изменение проводимости чувствительного слоя при адсорбции сторонних молекул [1]. При контакте полупроводника с газовой средой на его поверхности адсорбируются молекулы соответствующих газов. Изменение проводимости означает изменение и электрического сопротивления чувствительного слоя. Если использовать полупроводниковый газовый сенсор в качестве плеча резистивного делителя, то изменение концентрации газа будет приводить к изменению уровня напряжения на средней точке делителя.

Использование аналого-цифрового преобразователя (АЦП) позволяет в режиме реального времени отслеживать подобные изменения и сохранять данные в цифровом виде для дальнейшей обработки.

На рис. 1 представлен первый прототип системы газовых сенсоров, предназначенный для определения концентрации газов, выделяемых овощами, фруктами и ягодами.



Рис.1 Экспериментальный газоанализатор, первый прототип

Анализ текущего состояния плодоовощной продукции осуществляется путем опроса микроконтроллером газовых сенсоров в режиме реального времени. Далее данные передаются в персональный компьютер для обработки и визуализации полученных результатов. На рисунке 2 представлен пример визуализации.

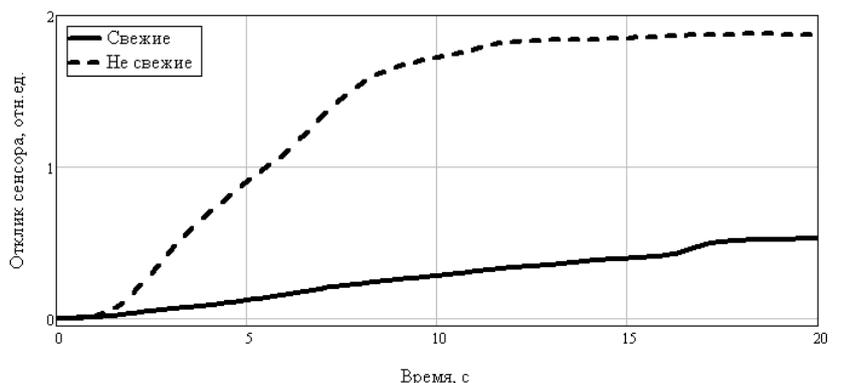


Рис.2. Пример работы первого прототипа

Для дальнейшей работы, заключающейся в сборе большого количества статистической информации, было признано целесообразным усовершенствовать мультисенсорную систему и увеличить количество одновременно работающих полупроводниковых газовых сенсоров с 2 до 8. Это позволит расширить спектр регистрируемых системой газов и улучшить ее точность и быстродействие за счет увеличения количества получаемой и обрабатываемой информации.

Сенсоры, установленные в ранее разработанный прототип, работали в режиме постоянного нагрева до фиксированной температуры. Этот режим был рекомендован к использованию производителем сенсоров, поскольку их калибровка производилась именно в этом режиме, и именно для него является актуальной вся справочная информация, приводимая в сопроводительной документации.

Изменения температурных режимов позволит использовать тот факт, что именно от температуры чувствительного слоя сенсора зависит его степень чувствительности к различным группам газов. Работа одного и того же сенсора в режиме последовательного перехода между, например, двумя уровнями температуры, равноценна использованию двух сенсоров с различными уровнями чувствительности. Кроме того, при этом режиме, называемом термоциклированием, получать информацию о концентрации можно не только после окончания переходного процесса и становления стационарного режима, но и во время самого переходного процесса, характер которого изменяется с изменением концентрации газов [2].

На рисунке 3 показан пример работы сенсора в режиме термоциклирования.

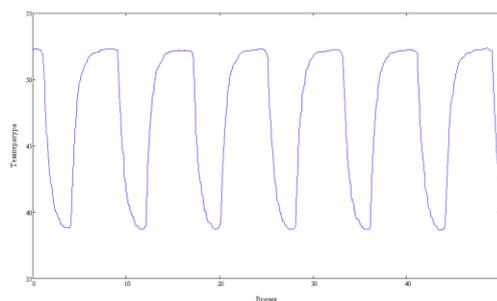


Рис.3. Термоциклирование

Поскольку время установления показаний сенсора при изменении концентрации может достигать нескольких минут, использование режима термоциклирования способно значительно увеличить быстродействие мультисенсорной системы.

Реализация подобного функционала потребовала внесения значительных изменений в аппаратную часть мультисенсора.

Полупроводниковые газовые сенсоры состоят из двух частей: самого чувствительного слоя, чья проводимость меняется при адсорбции на поверхности посторонних частиц, а также примыкающего к нему нагревательного элемента, обеспечивающего нужный температурный режим. Для обеспечения режима термоциклирования такая конструкция требует дополнительных внешних управляющих элементов.



Рис.4. Блок-схема модуля управления сенсором

Каждый из используемых сенсоров снабжен вторичным источником питания, подающим напряжение на его нагреватель. Вторичный источник питания представляет собой понижающий импульсный стабилизатор напряжения и потому нагреватель сенсора запитывается постоянным уровнем напряжения, что обеспечивает работу в постоянном режиме нагрева до фиксированной температуры. Для обеспечения возможности изменения температуры, вторичный источник питания снабжен управляемым при помощи микроконтроллера регулятором, позволяющим изменять уровень напряжения на выходе. Для более точной настройки температурного режима на аппаратном уровне предусмотрена обратная связь, а на программном имеется возможность калибровки для лучшей приработки к каждому конкретному экземпляру полупроводникового сенсора.

Количество задействованных в системе сенсоров возросло до 8. Помимо канала данных для снятия информации с чувствительного слоя, каждому из сенсоров необходимы каналы информации для управления регулятором температуры и для обратной связи с ним же. Аппаратных ресурсов используемого микроконтроллера stm32f4 недостаточно для одновременного обмена данными по такому количеству каналов.

Для решения возникшей проблемы был добавлен модуль, позволяющий мультиплексировать данные одного типа.

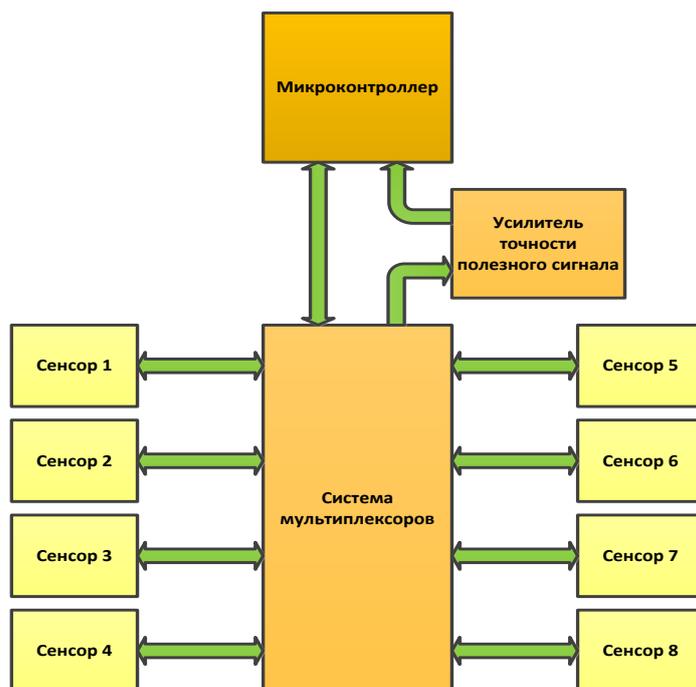


Рис.5. Схема одновременной работы с восемью сенсорами

Для уменьшения габаритных размеров аппаратной части мультисенсорной системы было принято решение о двухуровневой компоновке. Нижняя печатная плата содержит на себе все элементы, непосредственно относящиеся к обеспечению работы полупроводниковых сенсоров, верхняя несет на себе крепление для микроконтроллера и все необходимые для его работы внешние компоненты.

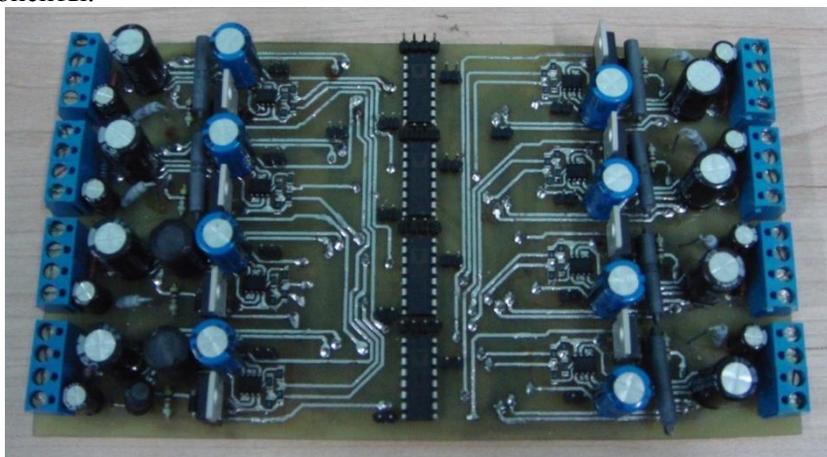


Рис.6. Нижняя плата



Рис.7. Верхняя плата

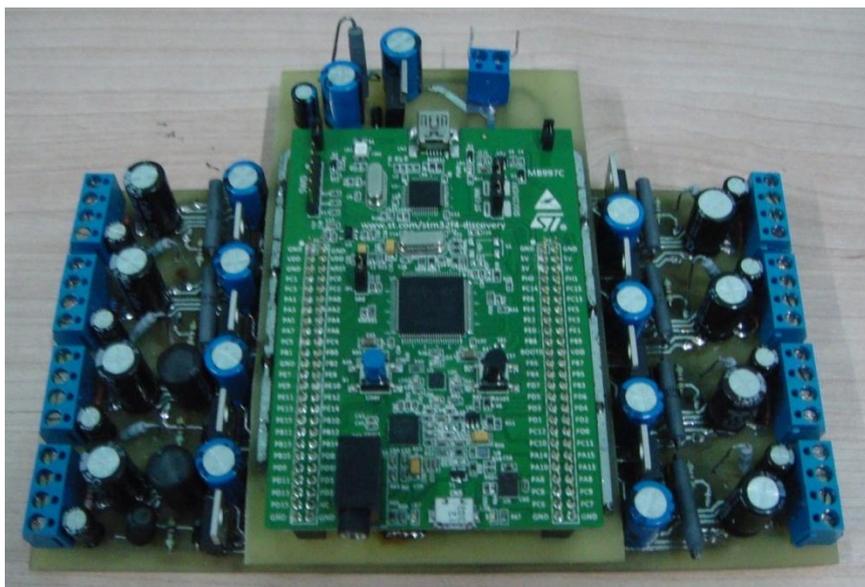


Рис.8. Общий вид

Для управления мультисенсорной системой и обработки полученных данных была произведена значительная доработка ранее разработанного программного обеспечения. В настоящий момент ПО обладает следующими функциями:

1. обеспечение связи ПК и мультисенсорной системы посредством интерфейса USB;
2. прием данных от всех восьми сенсоров;
3. графическая визуализация данных по чувствительному слою и по температуре;
4. запись всех полученных данных в xml-формате;
5. калибровка температурного режима каждого из сенсоров;
6. управление температурным режимом сенсоров, как в ручном режиме, так и в режиме чтения предварительно записанных инструкций.

Для каждого из восьми датчиков ПО позволяет задать до четырех температурных уровней в режиме термодиклирования. Также, сохранена возможность работы в режиме постоянной температуры.

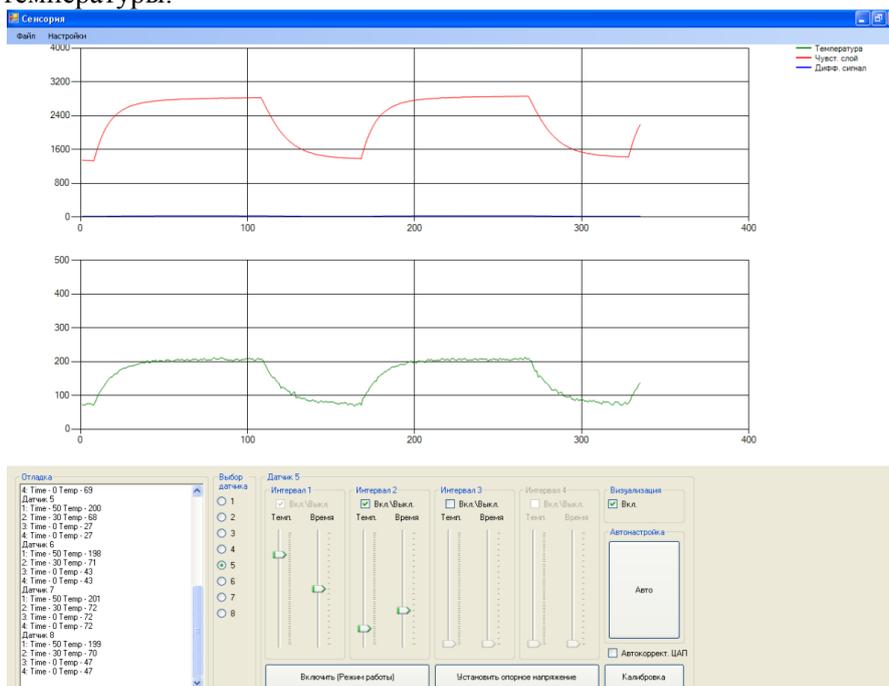


Рис.9. Интерфейс программы управления сенсорами

Для дальнейших исследований, где может возникнуть необходимость работы в условиях отсутствия доступа к сети 220В, была признана необходимость возможности питания от аккумуляторной батареи. Для этого разработана схема переключения между сетевым источником питания и аккумулятором.

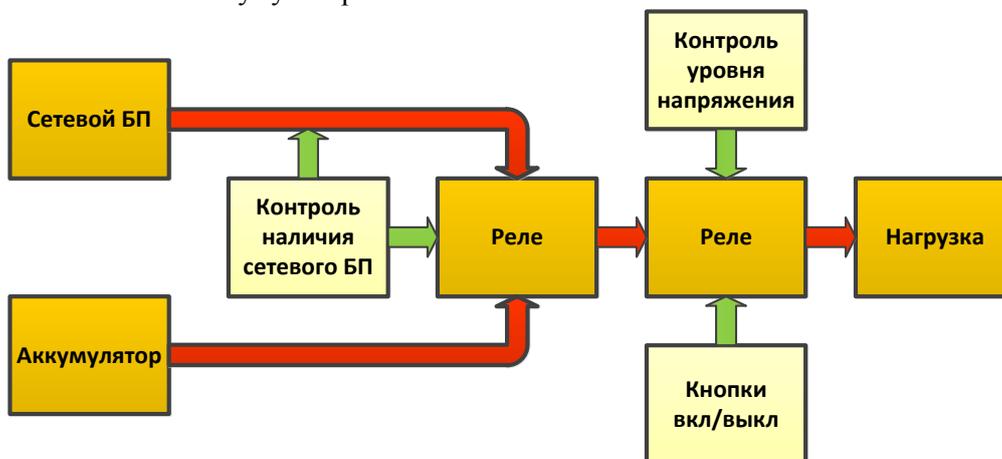


Рис.10. Схема управления питанием

Система сконструирована таким образом, чтобы минимизировать разряд аккумулятора в периоды времени, когда он не должен обеспечивать питание всего устройства. Это достигнуто за счет использования реле, подключенных таким образом, что в моменты простоя клеммы аккумулятора не имеют ни электрического, ни механического контакта с нагрузкой. Дополнительно, для предотвращения глубокого разряда аккумулятора предусмотрен модуль контроля уровня напряжения на клеммах, не позволяющий произвести включение устройства, если этот уровень недостаточно высок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаман В.И. Физика полупроводниковых газовых сенсоров. – г. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – 112 с.
2. Муксунов Т.Р., Максимова Н.К., Севастьянов Е.Ю., Шипилов С.Э., Якубов В.П. Повышение чувствительности и селективности полупроводниковых газовых сенсоров // Известия вузов. Физика, 2014. – Т.57. - № 9. - С.123-128.

Сведения об авторах:

Якубов В. П.: г. Томск, профессор, д. ф.-м. н., зав. кафедрой радиофизики ТГУ, e-mail: yvlp@mail.tsu.ru, тел.: (3822) 412583

Кузьменко И. Ю.: г. Томск, аспирант, ТГУ, e-mail: kuzmenko@sibmail.com, тел.: 952-181-07-07

Муксунов Т. Р.: г. Томск, аспирант, ТГУ, e-mail: T0Snake0MR@yandex.ru, тел.: 913-813-76-20

УДК 681.2.08

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА
ОСНОВЕ ПЛАТЫ СБОРА ДАННЫХ NATIONAL INSTRUMENTS
(DEVELOPMENT OF ELECTRICITY QUALITY REGISTRATION SYSTEM BASED ON
THE NATIONAL INSTRUMENTS DATA ACQUISITION BOARD)**

С.Ж. Мурзаханова
S. Murzakhanova

Томский политехнический университет
E-mail: mjsamal@mail.ru

Цель статьи заключается в разработке наиболее надежной, простой и удобной в использовании системы регистрации качества электроэнергии. В разработке системы предлагается использовать технологию виртуальных приборов. Была разработана структурная схема системы и предложен вариант необходимого технического средства. Внедрение данной системы обеспечит не только простой и надежный сбор и регистрацию данных, но и дает преимущество использования интуитивно понятного и мощного программного обеспечения (ПО) в сочетании с гибко настраиваемой модульной аппаратурой. (The purpose of my article is to develop the most reliable, simple and easy-to-use power quality registration system. The development of the system is proposed to use the technology of virtual instruments. It was developed structural diagram of the system and offered the option of the necessary technical means. Implementation of this system will provide not only a simple and reliable collection and recording of data, but also gives you the advantage of using an intuitive and powerful software in combination with the flexibility to customize the modular equipment.)

Ключевые слова:

Система регистрации; электрическая энергия; качество электроэнергии; виртуальные приборы; сбор информации.

(Registration system; electrical energy; power quality; virtual instruments; data acquisition.)

В любых производственных процессах производится сбор и регистрация информации. Существуют различные методы и средства сбора и регистрации информации. Однако, проблема обеспечения высокого быстродействия, надежности и точности измерения всегда актуальна. Выбору программно-аппаратного обеспечения так же отводится большая роль. За последние десятилетия появились усовершенствованные протоколы, контроллеры и технологии, что дает новые возможности в разработке систем сбора информации. В данной статье предлагается проводить сбор и регистрацию информации, как качество электроэнергии.

Электрическая энергия в нынешнее время оценивается как товар, соответственно, как товар, используется во всех сферах жизнедеятельности человека, обладает совокупностью специфических свойств и характеристик. Что касается качества данного товара, то качество электрической энергии — степень соответствия характеристик электрической энергии их установленным значениям. В свою очередь, характеристика либо параметр электрической энергии — величина, которая количественно характеризует какое-либо свойство электрической энергии [2].

В течение последнего десятилетия внимание к качеству электроэнергии значительно возросло. Массовые отключения электроэнергии, которые произошли в США и Европе в 2003 году, поставили вопрос о первостепенном значении надежности и качества энергии.

Спрос на электроэнергию (ЭЭ) гарантированного качества имеет несколько фундаментальных причин:

- электроэнергия стала рассматриваться как товар, для которого гарантированное качество создает стимул и для покупателя, и для продавца. Поставщики энергии в ближайшем будущем будут способны дифференцировать предложения по цене энергии в зависимости от уровня ее качества;

- большое количество электроэнергии можно сэкономить, если постоянно следить за ее качеством;
- возросшее внимание к качеству электроэнергии (КЭ) состоит в отмене госконтроля на рынке электроэнергии во многих странах мира [2].

В связи с этим необходимо обеспечить качество электроэнергии в соответствии со стандартами. Поэтому разработка системы сбора информации о качестве электроэнергии является актуальной проблемой современной электротехники.

В связи с вышеуказанными актуальными проблемами, цель статьи заключается в разработке наиболее надежной, простой и удобной в использовании, пригодной для работы в лаборатории системы. Вопрос импортозамещения и финансовой выгоды так же немаловажен.

При разработке данной системы учитывались стандарты, связанные с нормированием показателей качества электроэнергии [1], а также общие технические требования к средствам измерений. Начиная с 1 июля 2014 года в РФ сертификация электрической энергии проводится на соответствие ГОСТ 32144-2013 [1]. Настоящий стандарт устанавливает показатели качества электрической энергии в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц [1].

Разработанная система осуществляет автоматизированный контроль качества электроэнергии, сбор, регистрацию показателей качества электроэнергии. Структурная схема системы сбора информации о качестве электроэнергии приведена ниже.

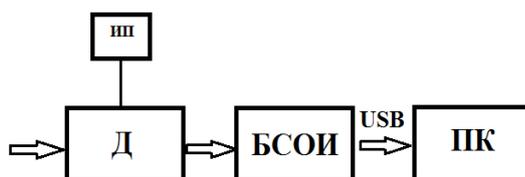


Рис. 1. Структурная схема системы регистрации и сбора:

ИП - источник питания, Д – делитель напряжения, БСОИ – блок сбора и обработки информации, ПК – персональный компьютер

В состав технических средств системы входят делитель напряжения, блок сбора и обработки информации и персональный компьютер (ПК).

На вход делителя напряжения на резисторах поступает сигнал в виде напряжения. Для уменьшения значения входного (питающего) напряжения используют делитель напряжения на резисторах. В нём, выходное напряжение зависит от значения входного (питающего) напряжения и значения сопротивления резисторов. В данном случае на вход делителя поступает напряжение 220В. Напряжение уменьшается до уровня (приблизительно до уровня входного напряжения АЦП - 10В), необходимого для нормальной работы блока сбора и обработки информации.

В блоке сбора и обработки информации значения сигналов преобразуются в цифровые коды с помощью АЦП. В данном устройстве сигнал подвергается оцифровке с помощью встроенного 16-разрядного АЦП, а так же дополнительной обработке для последующей передачи на персональный компьютер. Результаты измерений заносятся в энергонезависимую память. С помощью интерфейса USB осуществляется вывод результатов измерений на персональный компьютер. С помощью специального программного обеспечения результаты в наглядном и удобном виде отображаются на монитор компьютера, где так же можно следить за изменениями и отклонениями от нормы показателей качества электроэнергии. персональном компьютере информация регистрируется и отображается на мониторе ПК. С помощью программной среды, например как LabView, можно проводить контроль и мониторинг данных о качестве электроэнергии. Программа устроена так, что с входных сигналов она определяет основные виды показателей качества электроэнергии, а так же отображает насколько изменяются текущие показатели от заданных норм. Нормы показателей, а так же их

погрешности учтены в соответствии с госстандартами [1]. Кроме того, программное обеспечение позволит осуществить имитационную модель виртуального прибора.

В данной системе в качестве блока сбора и обработки сигнала предлагается использовать мультимедийное устройство сбора информации NI USB 6002. Рисунок приведен ниже.

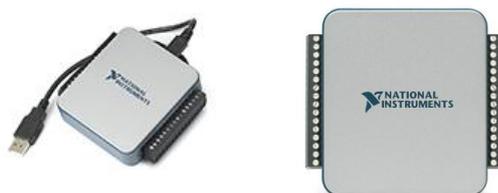


Рис. 2. Мультимедийное устройство сбора информации NI USB 6002

NI USB-6002 – высокоскоростное USB устройство сбора данных, имеет восемь аналоговых входных каналов с 16 бит разрешения и 50 Кс / с частотой дискретизации, 13 цифровых линий ввода / вывода, один основной счетчик и два аналоговых выходных канала. Имеет легкий механический корпус и USB питание от шины для портативности. Поддерживает следующие языки программирования - ANSI C; C # .NET; VisualBasic .NET; и NI LabVIEW, LabWindows / CVI и MeasurementStudio [3].

Таблица 1. Технические характеристики NI USB-6002

Параметр	Значение
Количество аналоговых входов	4(дифференциальный)
Разрядность АЦП,бит	16
Диапазон входного напряжения, В	± 10
Рабочее напряжение, В	± 10
Входной импеданс,ГОм	1
Количество аналоговых выходов	2
Выходной ток,мА	± 5
Выходное сопротивление,Ом	0,2
Разрешение,бит	32

Программная часть системы сбора информации реализована в графической среде LabView. Поступающий сигнал обрабатывается в ПК, формируются данные о показателях качества электроэнергии. В массиве программы реализованы фронтальная панель (FrontPanel) и блок диаграмма (BlockDiagram) системы. На фронтальной панели реализуется лицевая панель виртуального прибора. На данной панели отображаются данные о измеряемых, измеренных значениях и о погрешностях (абсолютная, относительная).

Лицевая панель виртуального прибора показана ниже.

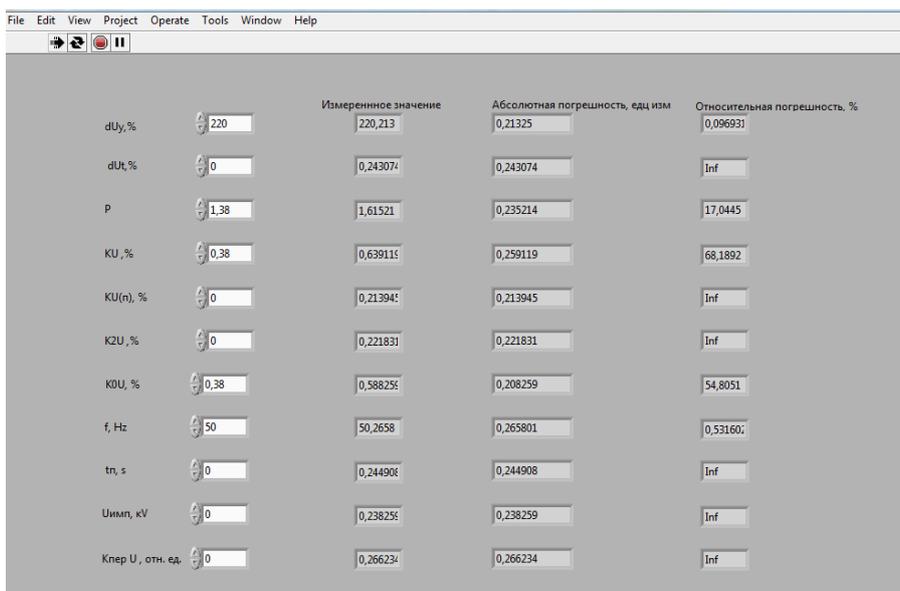


Рис. 3. Лицевая панель виртуальной системы сбора информации о ПКЭ

На лицевой панели показаны одиннадцать основных параметров электрической энергии, указанных в стандарте [1].

Данные о погрешностях можно найти в соответствующем Госстандарте[5]. В соответствии с нормально допустимыми и предельно допустимыми значениями, отображаются результаты измерений. Интервал измерений ПКЭ равен 0,2с, так как для сети с частотой 50 Гц интервал опроса равен 10 периодам.

Расчет погрешностей, ввод значения интервала времени, а также другие операции осуществляются в панели блок-диаграмм с помощью логических операций. В цифровом индикаторе NumericControl задается значение нормы определенного показателя. В индикаторе Numeric Indicator отображается измеренное значение того или иного ПКЭ. Для имитации модели системы в качестве источника сигнала выбран генератор сигналов, который выдает случайное значение. Затем с помощью математических операций вычисляются абсолютная и относительная погрешности. Интервал измерения ПКЭ так же устанавливается в таймере данной панели. В итоге, результаты отображаются на индикаторе Numeric Indicator.

Ниже представлен вид панели блок-диаграмм.

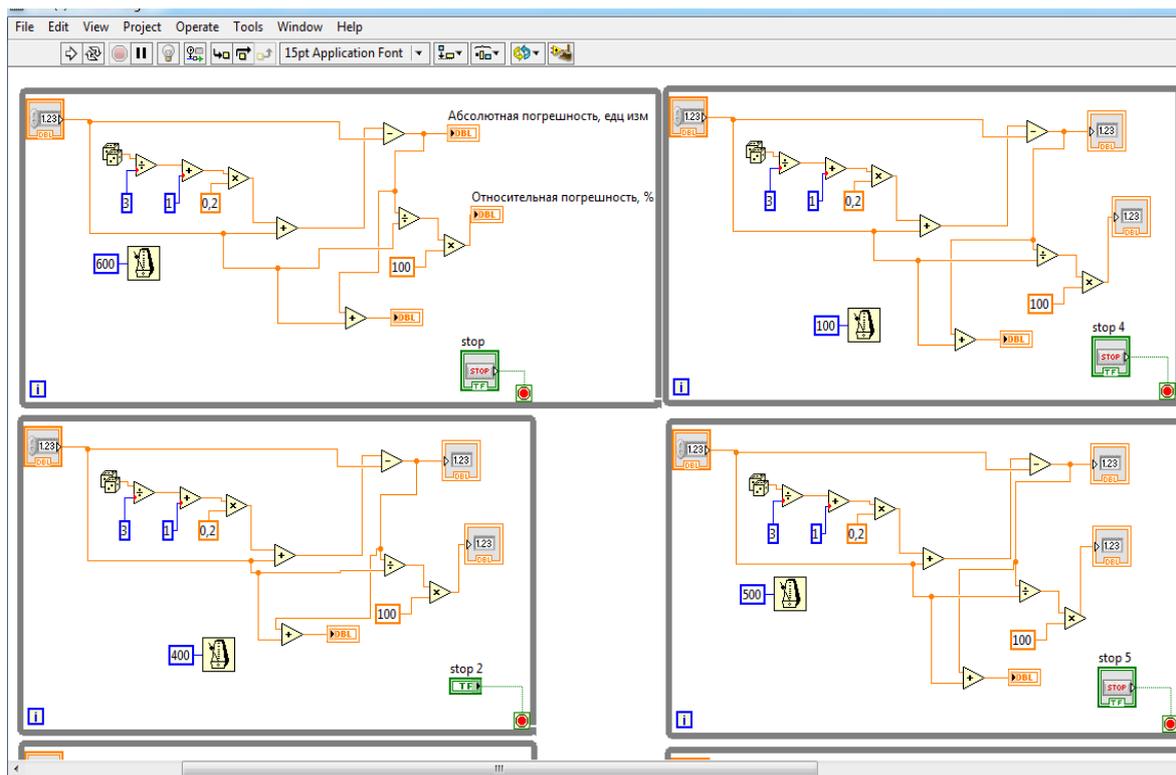


Рис. 4. Блок-диаграмма виртуальной системы сбора информации

Преимущества использования технологии виртуальных приборов (ВП) при разработке системы очевидны при решении многих задач автоматизации измерений. Одним из важнейших преимуществ данной технологии является возможность синтеза различных приборов с использованием LabView и модульных приборов, что позволяет сэкономить место и траты на разработку тестовых систем.

В статье предложена система регистрации качества электроэнергии на основе платы сбора данных National Instruments, при помощи которой был произведен контроль качества электроэнергии на основе измерений основных показателей качества электроэнергии. Кроме того, была разработана в соответствии с госстандартами структурная схема. Внедрение данной системы обеспечит не только простой, надежный сбор и регистрацию данных, но и дает преимущество использования интуитивно понятного программного обеспечения (ПО) в сочетании с гибко настраиваемой модульной аппаратурой. Программная составляющая определяет функциональность системы и позволяет настраивать и расширять возможности системы. Данная система дополняет ряд средств измерений показателей качества электроэнергии, которые отличаются своей простотой и удобством в использовании, надежности.

В результате использования данной информационно-измерительной системы можно получить информацию об отклонениях от нормы и погрешностях основных показателей качества электроэнергии. Анализируя полученные значения ПКЭ, можно сделать выводы в целом о всей системе энергоснабжения. Это, в свою очередь, поможет предпринять правильные шаги по повышению качества электроэнергии, определений источников возникновения и распространения помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – Введ.2013 – 07 – 01. – М.: Стандартинформ, 2014.

2. Википедия [Электронный ресурс] / Качество электрической энергии – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=65068891>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 26.08.2014).
3. National Instruments [Электронный ресурс]/ USB 6002 – Режим доступа: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/ru/nid/212384> свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 15.04.2015).

Сведения об авторе:

Мурзаханова С. Ж.: г. Томск, магистрант Национального исследовательского Томского политехнического университета (программа Double Degree), кафедра ИИТ. Тема диссертационной работы – «Разработка системы регистрации качества электроэнергии на основе платы сбора данных National Instruments».

УДК 681.2:581.33-52

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР (REVIEW OF MODERN SYSTEMS FOR STORING CEREALS)

А.М. Мырзабекова

A.M. Myrzabekova

Томский политехнический университет

E-mail: monti91@list.ru

В статье рассмотрены современные системы для хранения зерновых культур. Был проведен анализ систем применяющихся на производстве. Целью данной работы является выявление основных недостатков, преимуществ. На основе этих исследований разработать систему с наилучшими показателями. Актуальностью работы является проблемы возникающие при хранении зерна, такие как: самовозгорание зерна и сохранение качества и массы зерна, а также импортозамещение.

(The article deals with modern systems for storing crops. An analysis was made systems used in manufacturing. The aim of this work is to identify the main shortcomings of advantages. On the basis of this research to develop a system with the best performance. Actual work is a problem arising from the storage of grain, such as spontaneous combustion of grain and preserve the quality and weight of grain, as well as import substitution.)

Ключевые слова:

Зерно, хранение, элеватор, автоматизация, АСУТП.

(Grain, storage, elevators, automation, ACSTP.)

Внедрение современных информационных технологий, а также последних разработок в сфере промышленной автоматизации предприятий хранения и переработки зерна имеет существенное влияние на повышение эффективности управления, рост конкурентоспособности предприятий в целом.

Процесс хранения и переработки зерна сложный, многоступенчатый, энергоемкий, что требует внедрения совершенных, надежных систем автоматизации хранения и переработки зерна для достижения высокой эффективности работы данной отрасли. Технология хранения и переработки зерна совершенствовалась веками, с того момента, как человек впервые научился перетирать зерна с помощью плотно прилегающих друг к другу вращающихся камней. Сегодня для переработки зерна используются те же механизмы растирающего, а также ударного действия, только на базе полностью автоматизированных, технически совершенных технологических комплексов по переработке и хранению зерна. Количество контролируемых, а также управляющих параметров современных автоматизированных предприятий хранения и переработки зерна (элеваторах, зернохранилищах, мукомольных заводах, комбикормовых комбинатах) постоянно увеличивается, давно превысив черту, когда оператор может самостоятельно (без применения сложных автоматизированных комплексов для предприятий хранения и переработки зерна) управлять технологическим процессом. В связи с этим, вопрос внедрения комплексной автоматизации зернохранилищ, элеваторов, силосов и других объектов по переработке и хранению зерна является довольно актуальным.

Сушка, хранение, перемещение зерна — основные составляющие процесса переработки зерна. Автоматизация технологических процессов сушки, хранения зерна, как правило, выполняется на достаточно высоком уровне. Основным препятствием внедрению современных АСУ ТП перемещения зерна является их относительно высокая стоимость.

Техническим базисом повышения эффективности технологии хранения и переработки зерна, организации автоматического контроля, управления, а также количественного учета сырья, продукции, является автоматизированная система управления технологическими процессами хранения и переработки зерна. АСУ ТП хранения и переработки зерна выполняет оперативный, жесткий контроль сырья, а также произведенной продукции, отслеживает соответствие работы предприятия технологическому регламенту, контролирует действия

технологического персонала, повышает персональную ответственность операторов за решения, которые повлекли убытки.

Основные направления автоматизации технологических процессов хранения и переработки зерна: Внедрение систем нового поколения - компьютеризированных автоматизированных комплексов зерноперерабатывающих предприятий и хранилищ вместо существующих на многих предприятиях отрасли релейных систем автоматизированного управления процессами хранения и переработки зерна. Модернизация АСУ ТП зернохранилищ и зерноперерабатывающих комплексов позволит оперативно управлять технологическим процессом, контролировать, протоколировать действия операторов, вести жесткий учет сырья и продукции.

Внедрение современных систем автоматизации предприятий по хранению и переработке зерна позволяет качественно подготовить зерно к размолу, включая формирование помольной партии, оптимальное автоматическое увлажнение зерна, зависимо от его начальной влажности, а также ряда других характеристик.

Замена релейных АСУ ТП элеваторов, силосов современной элементной базой систем автоматизации зернохранилищ позволит реально отслеживать перемещения каждой конкретной партии зерна, вести непрерывный учет, оперативно анализировать параметры зерна, жестко контролировать процесс приемки, уменьшить вероятность возникновения недостатков.

Внедрение современных систем коммерческого учета на предприятии хранения и переработки зерна посредством тензометрических систем измерения веса, связанных единой автоматизированной системой учета зерна (зерно-продуктов), доступных для считывания показаний с верхнего уровня АСУ ТП зерноперерабатывающего предприятия.

Автоматизированный учет продукции зерноперерабатывающих предприятий и зернохранилищ существенно уменьшает влияние человеческого фактора на результат взвешиваний и повышает точность измерений. Замена устаревших систем термометрии элеваторов и силосов современными метрологическими аттестованными и сертифицированными системами.

Задача автоматизации комплекса по хранению и переработке зерна на сегодняшний день является довольно актуальной. Современные средства АСУ ТП зерноперерабатывающих предприятий позволяют значительно снизить потери при хранении и переработке зерна, сэкономить энергоресурсы зерноперерабатывающих предприятий, элеваторов, минимизировать влияние человеческого фактора, рисков возникновения аварийных ситуаций работы автоматизированных технологических комплексов по хранению и переработке зерна. Последние разработки в области АСУ ТП зерноперерабатывающей отрасли позволяют автоматически прогнозировать процесс самосогревания зерна, надежно, качественно в автоматическом режиме управлять потоками влажного и сухого зерна, процессом сушки, также системой формирования технологических маршрутов в пределах зерноперерабатывающего предприятия.

АСУ ТП элеватора фирмы “САН Интербрю”

Автоматизация технологического процесса элеватора осуществляется на основе аппаратно-технических и программных средств по блочно-модульному принципу и легко перестраивается под изменения технологического процесса. Структурная схема системы изображена на рисунке 1. Система отличается высокими характеристиками по надежности, помехозащищенности, самотестированию и диагностике неисправностей электрооборудования. По принципу построения АСУ ТП относится к классу сетевых систем управления. Подключение к периферийному оборудованию и датчикам производится через управляющие станции (промышленные контроллеры), связанные промышленной информационной сетью PROFIBUS. Аппаратура комплекса полностью гальванически развязана от управляемого электрооборудования.

В объем автоматизации входит управление всеми маршрутами внутри элеваторного транспорта перекачки зерна, приема с ЖД и автотранспорта, включая управление задвижками и перекидными клапанами, а также сопутствующими системами аспирации.

Проектом предусмотрены следующие виды управления: местное - с индивидуальных пультов управления и дистанционное - с блокировкой и элементами автоматики.

- Внедрение системы автоматического управления и визуализации позволяет:
- к осуществлять оперативный сбор и обработку данных о состоянии периферийного оборудования, механизмов, датчиков, транспортеров, норий и т.д.;
 - обеспечивать непрерывное диагностирование и обнаружение аварий и отклонений от технологического процесса, с выдачей аварийной сигнализации и с оповещением о характере неисправности и мерах, предпринятых по предотвращению нежелательных последствий (блокировки оборудования, останова маршрутов);
 - вести оперативные протоколы работы предприятия, а также протоколы функционирования собственных узлов и модулей;
 - обеспечивать надежную непрерывную работу в условиях промышленного производства;
 - контролировать наличие продукта в бункерах и силосах;
 - контролировать токи нагрузки двигателей, сигнализировать о превышении нагрузки и выполнять отключения двигателей при достижении предельных нагрузок;
 - осуществлять переход на “местный” режим работы;
 - отображать основные технологические параметры в удобной для обслуживающего персонала форме (таблицы, графики, технологические схемы);
 - вести архив значений технологических параметров;
 - разграничить уровни доступа к изменению параметров работы установок (авторизированный вход в систему).

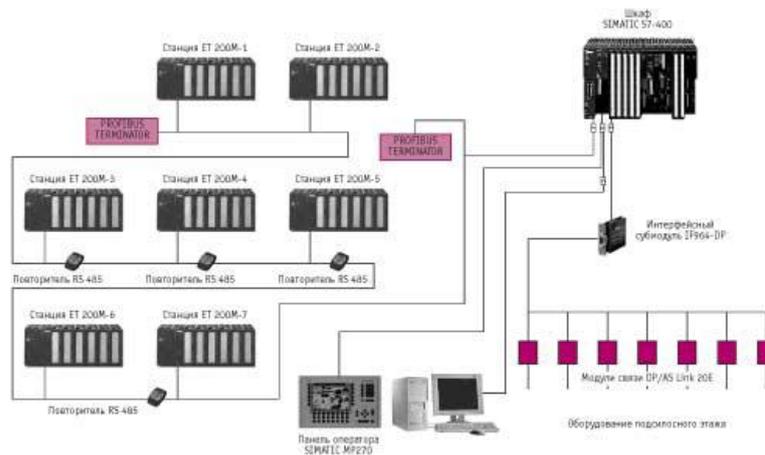


Рис.1. Структурная схема АСУ ТП элеватора

Возможности системы автоматизации элеватора:

1. Система автоматизации сохраняет функции управления при отказе отдельных технических средств.
2. Система имеет модульную архитектуру со встроенными элементами непрерывного самотестирования и самодиагностики, легко и быстро восстанавливаемая при отказах, путем замены стандартных блоков и модулей, подключаемых на разъемных соединениях.
3. В системе автоматизации предусмотрена полная гальваническая развязка всех внешних линий и кабелей информационных сетей.
4. Предусмотрены резервные аппаратные каналы для возможности расширения степени автоматизации предприятия путем интеграции в систему управления необходимых датчиков, автоматических клапанов и задвижек, нового технологического оборудования и т.д.
5. Функции оперативного управления реализуется на SCADA - системе WINCC интерфейсом управления с оператором-технологом, обеспечивает быстрый и удобный доступ к процессу, а также полное представление необходимой текстовой и графической информации через экранную систему отображения.
6. Система сигнализирует оператору о различного рода ошибках, связанных с отклонением параметров от допустимых значений, отказами технических средств и основного оборудования, а также с неправильными действиями персонала.

7. Функции защит и блокировок реализуются в результате регистрации недопустимых отклонений аналоговых сигналов или определения недопустимых состояний дискретных сигналов или их сочетания.

8. Система предусматривает два уровня защит - локальные (действующие на отдельные узлы и агрегаты) и глобальные (влияющие на разгрузку или останов объекта).

9. В результате слежения за нагрузкой оборудования система имеет возможность раннего обнаружения перегрузок для их профилактического устранения, что уменьшает число аварийных остановов оборудования и его износ.

Система управления оборудованием состоит из: контроллера SIMATIC S7-400, станций распределенного ввода-вывода ET200M, модулей ASI-интерфейса, объединенных в единые сети и подключенных к контроллеру SIMATIC S7-400.

В системе управления оборудованием контроллер SIMATIC S7-400 выполняет функции ведущего устройства. Он связан со станциями ET200M и модулями ASI-интерфейса единой сетью PROFIBUS, по которой производит обмен информацией с периферийными устройствами. К контроллеру подсоединены персональные компьютеры. SIMATIC S7-400 состоит из следующих функциональных блоков: блок питания PS407 на 10А, CPU 414-3 с встроенным блоком IF 964-DP, модуль дискретных выходов SM 422 на 16 выходов по 24В постоянного тока, два модуля дискретных входов SM 421 на 32 входа по 24В постоянного тока каждый, два модуля аналоговых входов SM 431 на 16 входов каждый, сконфигурированные на входной ток 4-20 мА, монтажная стойка на 18 разъемов.

Станции распределенного ввода-вывода предназначены для сбора сигналов от датчиков, преобразования и передачи их в контроллер SIMATIC S7-400 по сети PROFIBUS, а также получения служебной информации от контроллера, преобразования ее в дискретные выходные сигналы управления оборудованием. В состав станции ET200M-1 входит: блок питания PS307 на 5А, интерфейсный модуль IM153-1, для подключения к сети PROFIBUS, четыре модуля дискретных входов SM321 на 32 входа по 24В постоянного тока каждый, два модуля дискретных выходов SM322 на 32 выхода по 24В постоянного тока каждый. Станция ET200M-1 позволяет подключить дополнительно, с целью расширения, еще 2 модуля. ET200M-1 задействована в контроле и управлении оборудованием, расположенным на отметках 36.600, 48.600 метров.

Станция ET200M-2 состоит из блока питания PS307 на 5А, интерфейсного модуля IM153-1, для подключения к сети PROFIBUS, пяти модулей дискретных входов SM321 на 32 входа по 24В постоянного тока каждый. Станция ET200M-2 позволяет подключить дополнительно с целью расширения еще 3 модуля. ET200M-2 задействована в контроле верхнего уровня в силосах.

Станции ET200M-3, ET200M-4, ET200M-5 идентичны и состоят из блока питания PS307 на 2А, интерфейсного модуля IM153-1, для подключения к сети PROFIBUS, одного модуля дискретных входов SM321 на 16 входов по 24В постоянного тока каждый и одного модуля дискретных выходов SM322 на 16 входов по 24В постоянного тока каждый. С целью расширения на каждую из вышеперечисленных станций можно дополнительно установить еще по 6 модулей. ET200M-3, ET200M-4, ET200M-5 установлены на разгрузочных тележках и заняты их управлением и контролем.

Станция ET200M-6 состоит из блока питания PS307 на 5А, интерфейсного модуля IM153-1, для подключения к сети PROFIBUS, двух модулей дискретных выходов SM322 на 32 выхода по 24В постоянного тока каждый и одного модуля аналоговых входов SM331 на 8 входов, сконфигурированный на входной ток 4-20 мА. На станцию ET200-M6 можно дополнительно установить 3 модуля. К ET200-M6 относится оборудование, установленное на отметках 13.725, 19.725, 25.725, 31.725 метров. Последней является станция ET200M-7, состоящая из блока питания PS-307 на 5А, интерфейсного модуля IM153-1, для подключения к сети PROFIBUS, трех модулей дискретных входов SM321 на 32 входа по 24В постоянного тока каждый, двух модулей дискретных выходов SM322 на 32 выхода по 24В постоянного тока каждый и двух модулей аналоговых входов SM331 на 8 входов каждый, сконфигурированные на входной ток 4-20мА. Дополнительно можно установить один модуль. ET200M-7 работает совместно с оборудованием, находящимся на 0 отметке рабочей башни элеватора.

Управление и контроль состояния оборудования подсилосного этажа осуществляется модулями ASI-интерфейса, объединенными в 7 линий. Каждая линия модулей соединена с контроллером SIMATIC S7-400 при помощи устройства связи DP/AS-интерфейса, преобразующего сигналы ASI модулей в формат данных интерфейса PROFIBUS DP. Модули ASI-интерфейса устанавливаются в шкафы местного управления устройствами и подразделяются на модули ввода дискретных сигналов, модули ввода аналоговых сигналов и комбинированные модули ввода-вывода дискретных сигналов. Модуль дискретных входов имеет 4 входных канала, рассчитанных на напряжение 24В постоянного тока, модуль ввода аналоговых сигналов позволяет подключить 2 аналоговых датчика с выходным сигналом 4-20 мА, комбинированный модуль входов-выходов имеет два дискретных входа, рассчитанных на использование 24В постоянного тока.

Кабели связи объединяют отдельные станции ET200M, модули ASI-интерфейса и контроллер SIMATIC S7-400 в единую систему АСУ ТП элеватора. Связь контроллера со станциями ET осуществляется посредством кабеля PROFIBUS DP, в цепь которого включены повторители RS-485, позволяющие существенно повысить пропускную способность сети PROFIBUS. На концах линии связи, соединяющие ET200M с контроллером SIMATIC S7-400, установлены терминальные устройства PROFIBUS TERMINATOR, которые в случае необходимости позволяют производить расширение АСУ ТП путем подключения дополнительных станций ET200M. Вторая линия PROFIBUS соединяет контроллер и линии модулей ASI-интерфейса. В своем составе она имеет интерфейсный submodule IF964-DP и 7 устройств связи DP/AS-интерфейса. Здесь также применяется кабель PROFIBUS-DP. Для соединения модулей ASI-интерфейса, последовательно между собой и с устройствами связи DP/AS применяется обычный двухжильный кабель, по которому осуществляется как питание модулей ASI-интерфейса, так и обмен данными между контроллером и ASI-модулями. Данное решение обеспечивает однообразие построения сетевого элемента системы, упрощает отладку, обнаружение неисправностей и обслуживание АСУ ТП объекта.

Автоматизированная система управления технологическим процессом элеватора, внедряемая в волжском филиале ОАО «САН Интербрю», позволяет наиболее полно решать все вопросы, возникающие в процессе приема, хранения и отгрузки зерна. Использование техники известных мировых производителей, хорошо зарекомендовавшей себя на многих производствах, обеспечивает системе высокую надежность. Модульный принцип построения и использование открытого промышленного стандарта PROFIBUS позволяет легко модернизировать систему и по мере необходимости добавлять в нее новые элементы, постепенно охватывая дополнительные участки производства. Сетевой принцип построения системы автоматизации без проблем решает вопросы согласования работы элеватора с другими АСУ ТП, используемыми на производственных линиях предприятия.

АСУ ТП зернохранилища фирмы "Электрон-сервер"

Компьютерная система управления термометрией, вентиляцией и транспортирующими системами металлических зернохранилищ предназначена для реализации современных технологий хранения зерновых продуктов.

Система управления выполняет следующие функции:

1. Периодическое измерение температуры зерновых во всех силосах при помощи термоподвесок любого типа с аналоговыми либо цифровыми датчиками; Составление и анализ базы данных по предельно допустимым отклонениям температуры для каждого вида продукта за несколько дней по каждому датчику каждой термоподвески; Возможность отслеживания тенденции изменения температуры относительно предыдущих измерений на мониторе компьютера или в текстовых распечатках.

2. Автоматическое выборочное включение вентиляторов каждого силоса в зависимости от выявленной критической температурной зоны и с учётом внешних параметров состояния окружающей среды - времени суток, температуры и влажности.

3. Система управления загрузкой силосов. Весовой учетный и дозирующий тензометрический комплекс и привязка его к компьютерной программе учета оборота зерновых продуктов в зернохранилище.

4. Контроль загрузки силосов по датчику уровня, блокирующий сигнал на отключение процесса загрузки + звуковая сигнализация.

5. Эффект от внедрения системы;
 6. Повышение качественных показателей хранения продуктов в зернохранилище;
 7. Снижение затрат на обслуживание зернохранилища;
 8. Снижение требований к квалификации персонала;
- Возможность получения объективной информации о работе зернохранилища.

Структурная схема системы представлена на рисунке 2.

Эффект от внедрения системы:

- повышение качественных показателей хранения продуктов в зернохранилище;
- снижение затрат на обслуживание зернохранилища;
- снижение требований к квалификации персонала;

Возможность получения объективной информации о работе зернохранилища.

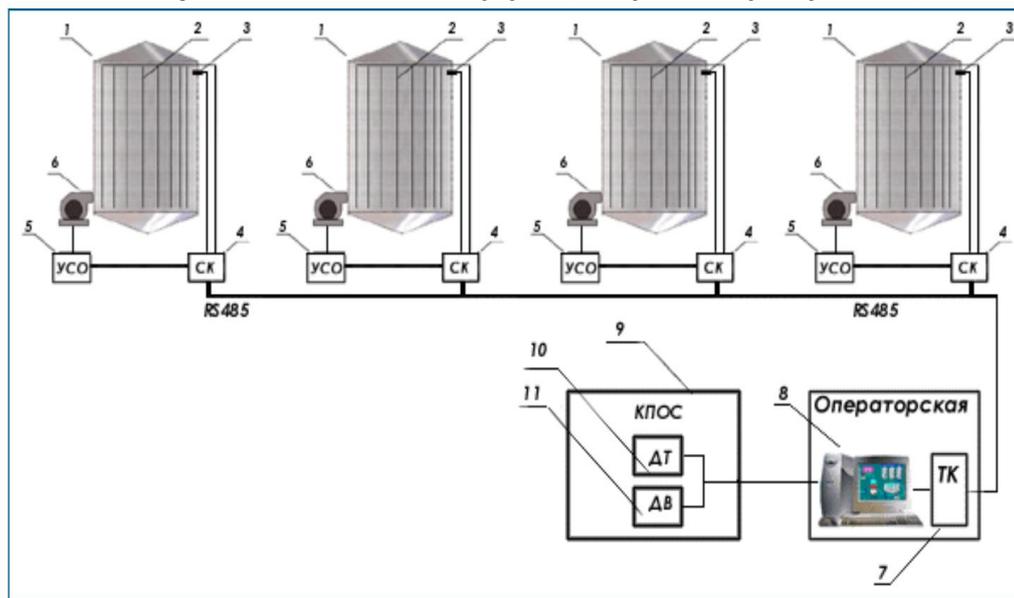


Рис.2. Структурная схема зернохранилища:

- 1 - Корпус зернохранилища, 2 - Термоподвески, 3 - Датчик уровня, 4 - Сетевой контроллер,
- 5 - Устройство связи с объектом (опторазвязка, усилитель, магнитный пускатель),
- 6 - Вентилятор, 7 - Технологический контроллер, 8 - Компьютер, 9 - Блок контроля параметров окружающей среды, 10 - Датчик температуры, 11 - Датчик влажности

В таблице 1 приведены основные технические характеристики зернохранилища.

Таблица 1. Технические характеристики зернохранилища

Наименование	Норма
Максимальная необходимая конфигурация ТК	8вх/7вых Сетевые
Тип контроллеров	1 канал MikroLAN/7дискр.вх
Номинальное напряжение питания, В	220
Частота питающей сети, Гц	50
Потребляемая мощность, Вт не более	500
Диапазон рабочих температур, °С	-30+55
Время реакции на изменение состояния датчика, с не более	0,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев Г.А. Автоматизация послеуборочной обработки и хранения зерна. – М.: Агропромиздат, 2002. – 240 с.
2. Бородин И.Ф., Столбов В.Н., Загинайлов В.И. Связь между электрическими параметрами зерновой массы и влажностью // Сб. науч. тр. / МИИСП, 1977. – Т.14, вып. 13. – С. 12-14.
3. Берлинер М.А. Измерения влажности. – М.: Энергия, 2003. – 400 с.

4. Савосин С.И. Портативный влагомер шпона.// Приборы и системы управления. – 2005. - №5. – С. 31 - 34.
5. Ивченко Ю.А., Федоров А.А. Чем измерить влажность?//Датчики и системы. – 2003. - №8. – С. 53 – 54.

Сведения об авторе:

Мырзабекова А. М.: г. Томск, магистрант группы 1БМ-32, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, e - mail: monti91@list.ru, тел.: 7787970026.

УДК 624.04

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЯ (EXPERIMENTAL RESEARCH SEISMICSTABILITY OF BUILDINGS)

А.С. Нааматов
A.S. Naamatov

Томский политехнический университет
E-mail: ars_kga@mail.ru

Применяемые ныне меры сейсмозащиты неэффективны, а расчет и проектирование зданий и сооружений по действующим нормам вовсе не исключает их разрушение. Приведен критический анализ сейсмозащиты зданий и предлагаются основные принципы их совершенствования.
(The measures of seismic protection applied nowadays are inefficient, calculation and design of buildings and constructions for existing rules doesn't exclude their destruction at all. The critical analysis of seismic protection of buildings is provided and the basic principles of their improvement are offered.)

Ключевые слова:

Землетрясение, сейсмозащита, антирезонансные, микротрещины, строительство, раздробление, разрушение, здания, сооружения.
(Earthquake, seismic protection, anti-resonant, microcracks, building, smashing, destruction, buildings.)

Несмотря на высокие достижения и развитие науки в области сейсмостойкого строительства проблема обеспечения сейсмоустойчивости жилых домов является все еще актуальной проблемой нашей жизни. Для строительства в сельских региона у Кыргызстана применяется сырцовый кирпич, глинобит, саман и грунтоблоки. Как показывает статистические данные, в основном распространены постройки из глинобита. Глинобитные здания строение из необработанной глины, которая имеет естественный состав, влажность и в которой нет примесей.

Чтобы построить таких зданий почти не требуется привозные материалы. Эти здания не строятся выше двух этажей. Они применяются как служебные и жилые, конюшни, складские помещения, хозяйственные помещения, ремонтные мастерские, кладовые, коровники и т.д. Следует продольные стены глинобитных зданий перевязывать поперечными стенами с интервалом не менее 10-12 см для исключения обвал стен и обеспечения устойчивости стен.

Глинобитные здания не устойчивы к сейсмическим колебаниям. Исходя из вышеуказанного, существует практическая необходимость в исследовании таких домов с целью усиления их от сейсмических воздействий и других природных явлений.

С этой целью лабораторией «Сейсмостойкое строительство» кафедры «Проектирование, возведение зданий и сейсмостойкое строительство» КГУСТА им. Н.Исанова была проведена серия экспериментов, том числе, и на модели дома из глинобита размером 2,5Х3м на сейсмоплатформе. Регистрация записи ускорений проводилась по трем составляющим: Z-вертикальная, горизонтальные: X – восток-запад и Y – север-юг. На рисунках 35-36 представлены записи интенсивности колебаний виброплатформы (балльности) на модели дома из «глинобита» 07 июля 2014 г. с ускорением 20 см/с² и 60 см/с² соответственно. На записи колебаний модели дома из «глинобита» виброплатформы 07 июля 2014г выделены отрезки записи: 1 отрезок – с 32000 до 36000, 2 – отрезок с 44000 до 48000, то есть в интервале 20 секунд. Полная длительность записи 4 минут 26 секунд. На записи амплитудного спектра колебаний виброплатформы для отрезка 1, преобладающая частота по составляющим: оси Z - f=5,8 Гц или период T=0,172 сек; X (B-3) - f=1,95; 3,9; 5,8 и 7,75 Гц или периоды T=0,513; 0,256; 0,172; 0,129 сек; оси Y (C-Ю) - f=3,9; 5,8 и 7,75 Гц или периоды T=0,256; 0,172; 0,129 сек (Рис.2).

Для второго участка 2 преобладающая частота по составляющей Z - $f=6,7$ Гц или период $T=0,149$ сек; по оси X (В-3) - $f=6,7$ Гц или периоды $T=0,149$ сек; по Y (С-Ю) - $f=3,4; 6,7$ Гц или периоды $T=0,294; 0,149$ сек соответственно.

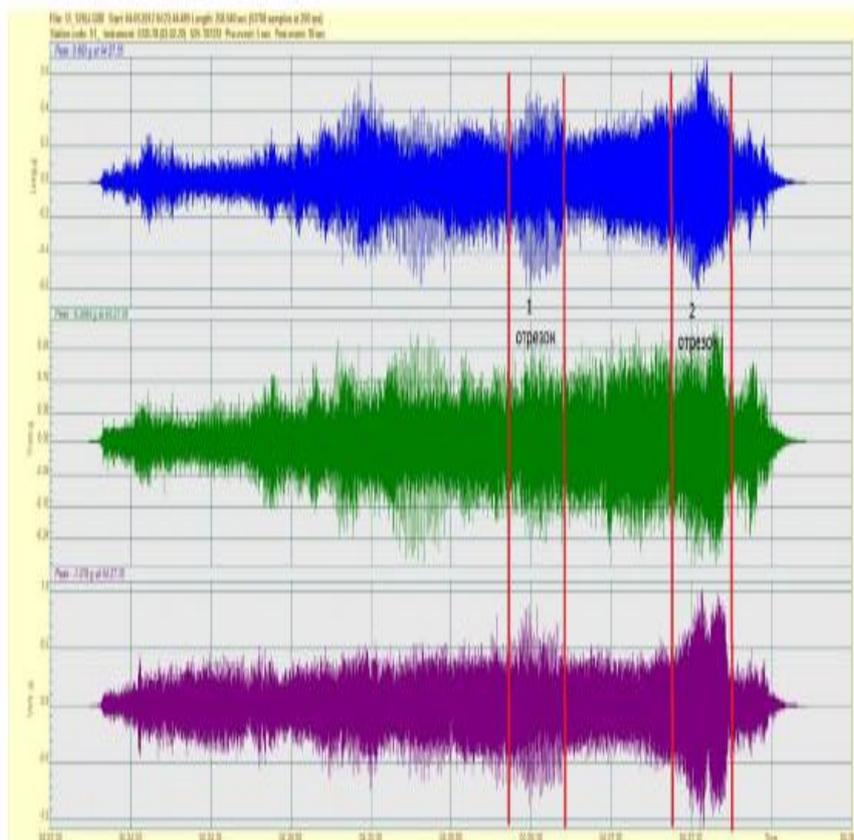
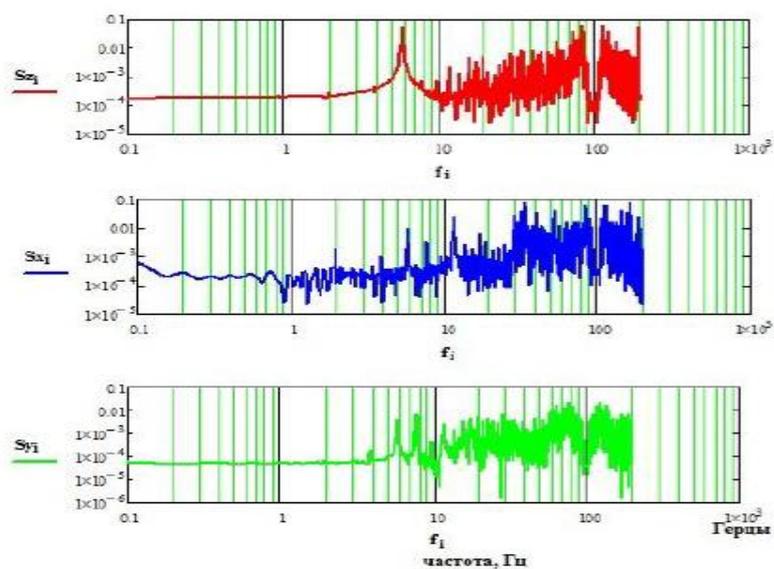


Рис.1. Запись колебаний на модели дома из «глинобита», виброплатформа. Отрезки записи: 1 – отрезок с 32000 до 36000, 2 – отрезок с 44000 до 48000, т.е. в интервале 20 секунд. Полная длительность записи 4 минут 26



секунд

Рис.2. Амплитудный спектр колебаний виброплатформы для отрезка 1

Преобладающая частота по составляющим: оси Z - $f=5,8$ Гц или период $T=0,172$ сек; X (В-3) - $f=1,95; 3,9; 5,8$ и $7,75$ Гц или периоды $T=0,513; 0,256; 0,172; 0,129$ сек; оси Y (С-Ю) - $f=3,9; 5,8$ и $7,75$ Гц или периоды $T=0,256; 0,172; 0,129$ сек

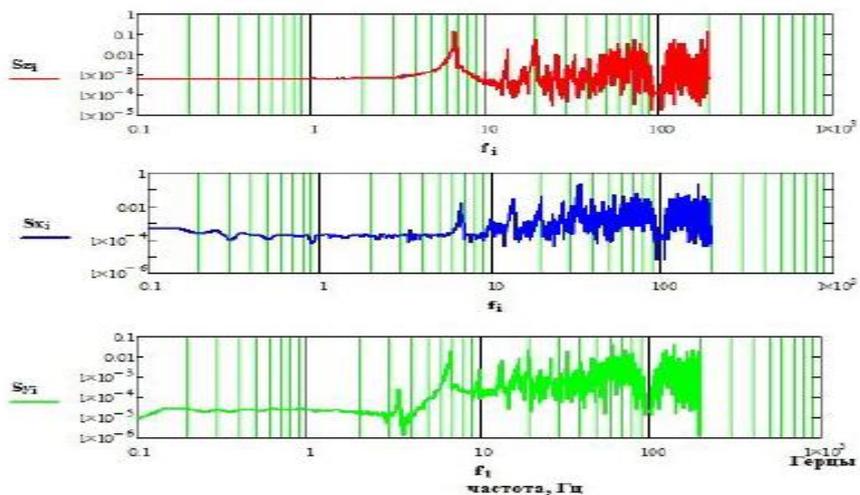


Рис.3. Амплитудный спектр виброплатформы для отрезка 2

Преобладающая частота по составляющей Z - $f=6,7$ Гц или период $T=0,149$ сек; по оси X (В-3) - $f=6,7$ Гц или периоды $T=0,149$ сек; по Y(С-Ю) - $f=3,4; 6,7$ Гц или периоды $T=0,294; 0,149$ сек соответственно.

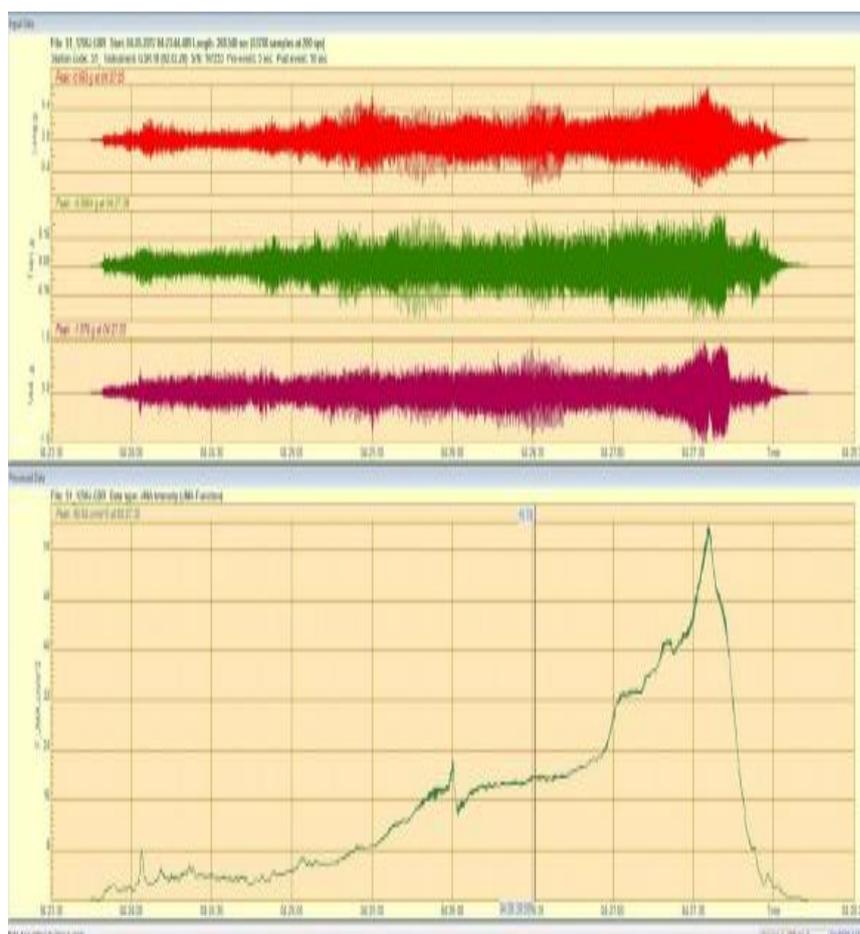


Рис.4. Запись интенсивности (балльности) колебаний виброплатформы на модели дома из «глинобита», 07 июля 2014г. Ускорение - 20 см/с²



Рис.5 . Запись интенсивности (балльности) колебаний виброплатформы на модели дома из «глинобита», 07 июля 2014г. Ускорение - 60 см/с^2

Для модели дома из глинобита величина интенсивности колебаний, равная 60 см/с^2 , при которой наступает разрушение, по шкале MSK-64 соответствует сейсмической интенсивности 8 баллов, а по EMS-92 – 5 баллам. Результаты эксперимента показывают, что данный тип дома не является сейсмостойчивым и мероприятия по его усилению обязательны.

На основе анализа множества фактов сейсмических разрушений зданий, в том числе официально считавшихся сейсмостойкими, к сожалению, вынуждены констатировать, что применяемые ныне меры сейсмозащиты неэффективны, а расчет и проектирование зданий по действующим нормам вовсе не исключает их разрушению. В связи с этим отмечаем, что в строительных кодах некоторых стран (к примеру, в Канаде) имеется весьма новый, необычный прогрессивный пункт, который предусматривает расчет зданий на любые иные сейсмические воздействия, пока не предусмотренные официально. Следует отметить, что подобная крайне негативная оценка ситуации, сложившейся в среде сейсмозащиты, была дана специалистами Японии сразу после катастрофы в городе Кобе в 1995 году. Нам кажется бесспорным и очевидным то, что главной причиной всех неудач нынешней стратегии сейсмозащиты может быть только дефицит информации о реально разрушительном сейсмическом воздействии. Если судить по тем аномальным формам сейсмических разрушений и срезов элементов зданий, которые регулярно возникают после всех сильных землетрясений, то они явно не могут быть вызваны только лишь низкочастотными колебаниями грунта. По-видимому, их вызывает некоторое иное сейсмическое воздействие. Теория сейсмозащиты дискредитировано ценой трагедии в Кобе. Как же произошел, отрыв сейсмической науки от учета реальных воздействий землетрясения? Надо признать, что природа сделала все возможное, чтобы сбить с толку ученых, принявших в качестве постулата следствие разрушений за их причину, и пустить специалистов по ложному следу. Увы – жизнь показала несостоятельность такого подхода. Убедительный тому пример – землетрясение в Кобе, где самые современные «антирезонансные здания» с гибким первым этажом разрушались в 6 раз чаще, чем обычные каркасные здания. Примерно тоже самое происходило везде, где «антирезонансные здания» попадали в зону сильных землетрясений: в гг. Кишиневе и Спитаке, в Турции, Греции, Перу. Дело в том, что здания, разрушенные землетрясениями, всегда выглядят так, словно их материал и конструкции изначально были непрочными, низкокачественными. При этом логика и смысл разрушительного воздействия землетрясений выглядят простыми и очевидными:

землетрясения, прежде всего разрушают плохие низкокачественные здания, наказывая строителей за их брак и ошибки, а высококачественные здания оказываются стойкими. Следовательно, рецепт надежной сейсмозащиты прост – достаточно лишь строить здания качественно и проблема будет решена. В результате такого подхода создалась иллюзия, что и сам механизм разрушительного воздействия землетрясений столь же прост. Возник соблазн объяснить и описать его на основе повседневного житейского опыта, используя для этого так называемую «резонансную модель землетрясений», согласно которой здания разрушаются оттого, что попадают в резонанс с сейсмическими колебаниями грунта. И что же? Это и означает – «строить качественно»?! В чем же дело? Да в том, что разрушительная трансформация материалов и конструкций зданий происходит отнюдь не только (и, надо полагать, не столько!) из-за резонансных колебаний грунта, а в результате своеобразного силового сейсмического воздействия, при котором, как свидетельствует практика, сейсмическое воздействие на здание и подвергнувшуюся землетрясению территорию распределяется неравномерно. Следует отметить, что в Кобе, где строительное качество зданий было безупречным, впервые никто не попытался списать их разрушения на брак строителей. Там впервые всем стало ясно, что строительный брак не может быть первопричиной своеобразных изменений, происходящих в структуре материала зданий после землетрясений. Анализ показал, что под воздействием сильных землетрясений в бетоне и в каменной кладке всегда развивается необычайно густая сеть микротрещин, которая резко снижает их начальную прочность и приводит к частичному или полному разрушению. Очень часто бетон после землетрясений буквально «крошится в руках» (как это оказалось в Спитаке), а бетонные блоки превращаются в «труху» (как в Нефтегорске). Итак, можно констатировать, что главным и весьма необычным свойством сейсмического воздействия является его «дробящий эффект» [4]. В зависимости от силы сейсмических толчков он проявляется по-разному; от скрытого прорастания микротрещин до полного раздробления и рассыпания высокопрочного бетона и каменной кладки.

При этом конструкции, выполненные из нехрупких материалов (дерева и стали), которые имеют высокую ударную прочность и не поддаются дроблению, всегда очень хорошо сопротивляются землетрясениям.

Все эти и многие другие факты, и свойства сейсмических разрушений указывают на то, что их вызывает некое квазиударное сейсмическое воздействие. Оно совсем не похоже на те низкочастотные колебания грунта, которые должны вводить здания в резонанс [1-4].

И здесь мы подходим к главной загадке землетрясений, которая до сих пор не разгадана. Она состоит в том, что нынешние маятниковые сейсмические приборы по ряду известных и неизвестных причин не фиксируют то дробящее воздействие, особые отпечатки которого ясно на всех стенах и колоннах зданий после землетрясений [1-4].

Приходится признать, что существует два качественно разных типа сейсмических сигналов. На первый тип реагируют маятниковые приборы, а на второй – здания своими раздроблениями. Это раздвоение особенно наглядно проявляется над разломами, где колебательное низкочастотное воздействие «почему – то» полностью исчезает, а дробящее достигает максимума. Именно в этих зонах раздробления зданий особенно интенсивны, а маятниковые приборы не фиксируют вообще никаких сигналов.

Итак, до сих пор мы защищаем здания лишь от первого типа тревожных сигналов, по-видимому, для них вообще не опасных. Эта традиционная стратегия сейсмозащиты, безусловно, обречена на провал. Но сейсмическая наука (пока!?) не видит ей альтернативы; при этом она полностью игнорирует чрезвычайно ценную и обширную информацию, которая заложена в бесчисленных сейсмических разрушениях зданий и их элементов.

Мы впервые обратили внимание на явное противоречие между квазиударной формой всех сейсмических разрушений и теми низкочастотными колебаниями грунта, которые до сих пор считаются единственной причиной сейсмических разрушений и которые, в принципе, не могут раздробить бетон и каменную кладку.

Проведя всестороннее изучение и анализ информации, заключенной в сейсмических разрушениях конструкций и материалов, мы пришли к выводу, что до сих пор нигде в мире нет реально сейсмической массовой застройки, способной противостоять 9-балльным землетрясениям.

Что самые современные антирезонансные здания в Японии столь же уязвимы, как любые другие, ибо они, как и все, не защищены от дробящего сейсмического воздействия. При этом мы подчеркнули, что уязвимыми являются здания с «гибким первым этажом».

Итак, можно утверждать: если мы будем и впредь защищать здания только от низкочастотных колебаний, фиксируемых маятниковыми приборами, то никогда не добьемся успеха.

Как же можно изменить эту ситуацию? Если исходить из традиционной приверженности к инструментальной информации для сейсмических расчетов зданий, то следует попытаться зафиксировать неизвестное пока по своему явлению «дробящее» разрушающее сейсмическое воздействие с помощью качественно иных высокочастотных приборов, хотя неизвестно подвергается ли это явление «улавливанию» таким инструментальным способом.

В конечном счете, предлагаем реализовать принципиально новый подход к решению проблемы сейсмозащиты зданий. Суть его в следующем. Необходимо приоритетно сосредоточить внимание на исследованиях и анализе «дробящих воздействий» на структуру сейсмических разрушений, чтобы, в конечном свете, выявить природу этого явления и определить рецепты защиты от него.

Сформулируем ряд первоочередных практических рекомендаций по борьбе с сейсмическими раздроблениями элементов зданий.

Самый распространенный случай сейсмических раздроблений – раздробление железобетонных колонн. Используемые ныне меры защиты, состоящие в сгущении поперечного армирования или в утолщении колонн, не могут дать положительного эффекта, так как они не направлены непосредственно на защиту от раздробления бетона. Решить радикально эту проблему, на наш взгляд, можно путем использования трубобетонных колонн, колонн с очень частым спиральным армированием или с иной мощной стальной облицовкой.

Разумеется, целесообразно использовать в сейсмоопасных зонах колонны из нехрупких материалов – дерева и стали, которые, в принципе, не поддаются раздроблению. Для одноэтажных зданий можно рекомендовать срубы, которые весьма сейсмостойки. В зданиях до трех этажей можно применять деревянный каркас. Что касается зданий со стальным каркасом, то их уязвимыми элементами являются сварные швы. Поэтому в сейсмоопасных зонах следует исключать сварку, заменив ее заклепчными и болтовыми соединениями.

Раздроблению кирпичной кладки в зонах до 8 баллов можно успешно противостоять, интенсивно армируя ее.

Помимо борьбы с раздроблениями следует направить внимание на использование конструкций и конструктивных решений, хорошо зарекомендовавших себя при сильных землетрясениях. Например, весьма надежными оказываются крупнопанельные здания, где несущие стены образуют ячейки 3х3 м. с плитами перекрытий, опертые по всему периметру. При этом необходимо исключить сварные соединения панелей, обеспечить их интенсивное армирование, использовать бетон, обладающий повышенной ударной вязкостью, и скруглять все углы в проемах.

По тому же принципу тщательного изучения и анализа каждого типа разрушений можно разработать эффективные контрмеры для всех остальных известных из практики типов разрушений несущих элементов в панельных, монолитных и иных зданиях.

До тех пор, пока параметры разрушающего сейсмического воздействия не будут измерены, строительные «нормы», основанные на новой стратегии «антиразрушений», не должны содержать расчетных формул. Вместо них должен функционировать набор строгих конструктивных ограничений и рекомендаций, которые вберут в себя также весь накопленный ранее практический опыт сейсмозащиты.

Переход к новой стратегии сейсмозащиты позволит более надежно защитить от землетрясений граждан, живущих в сейсмоопасных зонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов С.Б. Ударно – волновая концепция сейсмического разрушения зданий // «Энергетическое строительство», 1992. – №9. – С. 70-73.

2. Смирнов С.Б. Причины разрушения «сейсмостойких» железобетонных зданий и принцип их эффективной сейсмозащиты // Бетон и железобетон, 1994. – №3. – С. 22-25.
3. Смирнов С.Б. Исследование достоверности резонансно – колебательной модели сейсмического разрушения сооружений // Бетон и железобетон, 1995. – №1. – С. 23-26.
4. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Айдаралиев Б.Р. «Сейсмические разрушения – альтернативный взгляд», сборник научных трудов, часть I, Бишкек, 2012. – 138 с.
5. Sergey Smirnov. Discordances between real seismic destruction and present calculation // International Civil Defence Journal, 1994. – №1, pp. 6-7; 28-29; 46-47.

Сведения об авторе:

Нааматов А.С.: г. Томск, Томский политехнический университет, магистрант. Сфера научных интересов: сейсмология, исследование устойчивости зданий и сооружений.

УДК 616 – 71

ОБЗОР МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА (REVIEW OF METHODS TO ASSESS PSYCHOEMOTIONAL STATE OF A PERSON)

Д.К. Нгуен, М.М. Южаков

Научный руководитель: Авдеева Д.К., д.т.н., профессор

D. Nguyen, M. Yuzhakov

Scientific supervisor: Avdeeva D.K., Doctor of Sc., Full professor

Национальный Исследовательский Томский политехнический университет

Email: kqh1215@gmail.com

В данной статье приведен понятие психоэмоциональное состояние и его влияние на здоровье и деятельность человека. Представлен обзор методов и приборы, применяемые для оценки психоэмоционального состояния человека. Исследованы методы, используемые в лаборатории №63 Института Наразрушающего Контроля Томского Политехнического Университета. В статье акцентируется внимание на применение более чувствительных электродов – наносенсоров для более точной оценки психоэмоционального состояния человека.

(This article gives concept of the psychoemotional state and its influence on health and activities of human. Describes review of methods assessing the psychoemotional state of a person. Analysed methods, used in the laboratory of the Institute of number 63 NDT National Research Tomsk Polytechnic University. The article focuses on the use of more sensitive nanosensor to a better estimating psychoemotional state of a person.)

Ключевые слова:

Психоэмоциональное состояние, электрофизиологические показатели, электрокардиография, электромиография, электроокулография, кожно-гальваническая реакция, электроэнцефалография, наносенсоры.

(Psychoemotional state, electrophysiological parameters, electrocardiography, electromyography, electrooculography, galvanic skin response, electroencephalography, nanosensors.)

В [1] показано, что здоровье является одним из ключевых факторов человеческого благополучия. Человек ежедневно подвергается различным стрессовым ситуациям, которые в свою очередь вызывают различные эмоции от радости до гнева. Эмоциональное состояние человека влияет на его здоровье, так как эмоции имеют прямую и обратную связь со всеми системами и органами человека и зарождаются непосредственно в центральной нервной системе, контролирующей всю жизнедеятельность. Поэтому любые изменения в деятельности органов дыхания, сердечно – сосудистой системы, пищеварения, желез внутренней секреции или скелетной и гладкой мускулатуры приводят к изменениям в эмоциональном фоне человека. В свою очередь, состояние эмоционального фона также способно влиять на жизнедеятельность организма. В данной статье рассмотрены и исследованы некоторые методы и приборы, использующие для оценки психоэмоционального состояния человека. Они помогают определить наличие стрессового состояния, что, в свою очередь, может помочь предупредить порождаемую стрессом болезнь.

В [2] представлено, что психоэмоциональное состояние – особая форма психических состояний человека с преобладанием эмоционального реагирования. Эмоциональные проявления в реагировании на действительность необходимы человеку, так как они регулируют его самочувствие и функциональное состояние. Дефицит эмоций снижает активность центральной нервной системы и может явиться причиной снижения работоспособности. Чрезмерное влияние эмоциогенных факторов может вызвать состояние нервно – психического напряжения и срыв высшей нервной деятельности. Оптимальное эмоциональное возбуждение – условие готовности к деятельности и ее благоприятному для здоровья осуществлению.

Для того, чтобы оценить психоэмоциональное состояние человека наиболее эффективными методами являются объективные, которые не зависят от мнения исследуемого. Эти методы дают возможности исследовать электрофизиологические параметры, отражающие

психоэмоциональное состояние человека. Одним из объективных методов, разработанных учеными в Санкт – Петербурге является система Виброизображения. Эта система предназначена для регистрации, анализа и исследования психоэмоционального состояния человека, количественного определения уровней эмоций, детекции лжи, психофизиологической диагностики и дистанционного выявления потенциально опасных людей. Система позволяет визуально и автоматически оценивать психофизиологическое состояние человека на основе вестибулярно – эмоционального рефлекса, с помощью программной визуализации вибро – ауры, полученной при обработке составляющих амплитудного и частотного виброизображения.

Ввод изображения объекта осуществляется с любого источника видео, например, цифровой телевизионной камеры, а программное обеспечение обрабатывает полученную информацию и предоставляет интерфейс для сохранения полученных результатов. Система VibraImage производит автоматический мониторинг уровня эмоций, таких как стресс, агрессия, тревожность и другие, а также осуществляет детекцию лжи в режиме реального времени[3].

Другой объективный способ для оценки психоэмоционального состояния организма является электробиолуминесцентный метод (ЭБЛ). ЭБЛ метод исследования основан на регистрации и оценке изменений электробиолуминесценции – свечения, которое возникает под действием высокочастотного высоковольтного разряда вокруг живых организмов (свечение неживых и живых организмов известно как эффект Кирлиана). Свечение живых организмов изменяется в зависимости от их состояния. Российский исследователь Я.О. Наркевич – Йодко еще в конце 19 века обнаружил, что свечение больных людей отличается от здоровых. В норме короны свечения вокруг пальцев (электрограммы) – равномерные и гармоничные. А при ухудшении здоровья в коронах свечения возникают изменения – маркеры различных патологических состояний.

Многолетние наблюдения показали, что такие диагностические признаки свечения, как стрессовые сжатые стримеры, стрессовые кольца, клешни и другие на электрограммах пальцев рук объективно свидетельствуют не только о функциональных сдвигах, но и о состояниях психоэмоционального напряжения различной выраженности. Причем нарушения органов часто являются следствием стрессовых состояний. Признаки психоэмоционального напряжения представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Признаки психоэмоционального напряжения

Экспресс – оценка психоэмоционального состояния методом ЭБЛ – исследования может также иметь большое практическое значение при обследовании лиц, профессиональная деятельность которых сопряжена с риском аварий и несчастных случаев (операторы различных машин: летчики, машинисты, водители и т.д.). Метод может быть полезен при подготовке бойцов спецподразделений для оценки реакций организма при различных стрессовых нагрузках.

В настоящее время при исследовании уровня психоэмоциональной напряженности пациента, широко применяются электрофизиологические показатели человека, так как эмоции имеют прямую и обратную связь со всеми системами и органами человека. Существует множество методов, позволяющих выявить и зафиксировать электрофизиологические

показатели человека. Основными методами регистрации электрофизиологических показателей человека являются электрокардиография – метод регистрации разности потенциалов электрического поля сердца, возникающего при его работе; электромиография – метод исследования биоэлектрических потенциалов, возникающих в скелетных мышцах человека и животных при возбуждении мышечных волокон; электроэнцефалография – метод исследования головного мозга с помощью регистрации разности электрических потенциалов, возникающих в процессе его жизнедеятельности; электроокулография – метод регистрации разности потенциалов, возникающей при изменении движения глаза и кожно – гальваническая реакция, определяющийся по изменениям биоэлектрических параметров кожи рук – разности потенциалов и импеданса. Эти методы позволяют регистрировать такие параметры, как возбуждение мышц, учащенное сердцебиение, отток крови от кожной поверхности человека, активность головного мозга и т.д. Согласно исследованиям, проводимым психологическими службами, эти методы позволяют регистрировать изменение эмоционального состояния человека[5].

На базе этих методов компания «Инферум» города Екатеринбурга предложила аппаратно – программный комплекс РОФЭС-Е01С – регистратор оценки функционально–эмоционального состояния, который создан для индивидуальной комплексной диагностики организма. Этот комплекс предназначен для тестирования и контроля общего уровня здоровья, функционального состояния 17 основных органов и систем организма, а также оценки психоэмоционального состояния человека, такие как уровня усталости, стресса, влияния эмоций на работу организма. Метод тестирования и контроля основан на воздействии на биологически активную точку МС – 7, расположенную на внутренней стороне запястья левой руки, через которую ко всем органам посылается импульс микротока, вызывающий ответную реакцию. У человека каждый орган работает в строго определенном, присущем ему ритме. Отклики этих ритмов, как эхо, возвращаются обратно в устройство, а затем сравниваются в программе с эталонными ритмами, которые свойственны организму здорового человека, соответствующего пола и возраста[4].

Кроме того на рынке представлен класс приборов – сомнографы. Сомнографы представляют собой специализированные диагностические комплексы для исследования патологии сна. Полисомнографическая система AURA PSG LITE предназначена для проведения скрининга пациентов с нарушениями сна в лабораторных и вне лабораторных условиях.

Наиболее известные приборы и системы, использующие получаемую по разным каналам физиологическую информацию для оценки психофизиологического состояние человека являются полиграфы. На территории России наиболее часто используют полиграф, такие как «Барьер-14», «Крис», «Риф», «Диана-02» и «Диана-04». Современный полиграф представляет собой сенсорный блок с переносным персональным компьютером и датчиками съёма информации. Сенсорный блок предназначен для получения сигналов от датчиков, регистрирующих информацию о физиологических процессах, фильтрации и усиления этих сигналов, преобразования их в цифровой код и передачи его на компьютер для последующей обработки[5].

В отличие от объективных методов оценки психоэмоционального состояния человека, субъективные методы проводят с помощью специализированных тестов. В первую очередь, следует выделить тесты Люшера, Цунга, Спилберга-Ханина, шкалу Гамильтона. Обычно указанные тесты реализованы в виде компьютерных программ, которые позволяют автоматизировать процесс тестирования. Отметим, что среди применяемых технологий тестирования можно выделить два направления – явное и неявное тестирование. Первое направление предполагает прямое предъявление человеку вопросов, рисунков и других зрительных образов. Второе направление реализует неявное предъявление тестовой информации. Типичным примером могут служить цветовые тесты Люшера. Он основан на том, что выбор цвета отражает нередко направленность испытуемого на определенную деятельность, настроение, функциональное состояние и наиболее устойчивые черты личности. Тест Спилберга – Ханина используется для самооценки уровня тревожности и личностной тревожности, состоящий из 40 вопросов. Шкала Гамильтона предназначена для точной оценки степени тяжести тревожного синдрома у человека на основе общих психометрических тестов.

Шкала Цунга, шкала Ахмеджанова предназначены для самооценки депрессивных состояний, состояний близких к депрессии, для скрининг – диагностики при массовых исследованиях. Кроме того, можно использовать методику, предложенную Изардом для диагностики доминирующего эмоционального состояния с помощью шкалы значимости эмоций. Методика предназначена для самооценки интенсивности и частоты возникновения 10 основных эмоций в соответствии со списком шкалы К. Изарда [6].

Вышесказанные субъективные методы показывают, что рассматриваемые методики тестирования имеют достоинства, заключающиеся в том, что они дают оценку весов для каждого из применяемых вопросов для того, чтобы более объективно оценить психоэмоциональное состояние человека. К недостаткам рассматриваемой методики следует отнести трудности адаптации тестовых вопросов к индивидуальным особенностям тестируемых, так как понятие важных жизненных событий имеет существенную социальную подоплеку.

Повышение разрешающей способности средств для оценки психоэмоционального состояния человека является актуальной задачей в настоящее время. В Томском политехническом университете в институте неразрушающего контроля в лаборатории № 63 будут комбинировать объективные и субъективные методы для более точного исследования психоэмоционального состояния человека. Для объективных методов разрабатываются медицинские наносенсоры для съема биопотенциалов, имеющие более высокую стабильность электродного потенциала, стабильные контактные и поляризационные потенциалы, более низкое напряжение шума и сопротивление. Для тестирования пациентов будут применены существующие оценки психоэмоционального состояния человека, в которых будут использованы результаты как субъективного, так и объективного тестирования исследуемого.

В ходе работы были сделаны следующие выводы:

Изменение психоэмоционального состояния действительно находится в тесной взаимосвязи с физическим состоянием человека.

Разработанные наносенсоры позволят оценить более точно психоэмоциональное состояние человека при тестировании исследуемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Здоровье [Электронный ресурс]/ электрон.дан.- 2002-2009 г. - Режим доступа: <http://www.o5a.ru/page,3,31-ponyatie-psixoyemocionalnogo-sostoyaniya-cheloveka.html>
2. Безруких М.М., Фабер Д.А. Психофизиология. Словарь // Психологический лексикон. Энциклопедический словарь: В 6 т. / ред.-сост. Л.А. Карпенко; под общ. ред. А.В. Петровского. — М.: ПЕР СЭ, 2006. — 128 с.
3. Система контроля психоэмоционального состояния человека// 3D система виброизображения [Официальный сайт]. URL: <http://www.elsys.ru/vibrainage.php> (дата обращения 12.2.2013).
4. ROFES-E01C (РОФЭС) - функциональный экспресс тест здоровья организма//Потребительское общество «Арго» [Электронный ресурс]. URL: <http://argo-surgut.ru/rofes-e01s-rofes-funkcionalnyy> (дата обращения 12.06.11).
5. Южаков М.М. Разработка и исследование методов и технических средств нановольтового и микровольтового уровня для электрофизиологических исследований: дис. к.т.н/ ТПУ – Томск, 2012.
6. М.В. Алюшин, Л.В. Колобашкина. Информационные технологии принятия решений в условиях конфликта: Учебное пособие для вузов. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 160с.

Сведения об авторах:

Нгуен Данг Куанг: г. Томск, аспирант 1-ого года обучения Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Южаков М. М.: г. Томск, к.т.н., м.н.с. лаборатории №63 Национального исследовательского Томского политехнического университета.

УДК 007.52

**АТТЕСТАЦИЯ ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА БАЗЕ
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ
(CERTIFICATION OF ELECTRICITY METERING DEVICES BASED ON THE
MICROPROCESSOR TECHNOLOGY)**

Р. О. Нысанбаева
R. Nyssanbayeva

Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: nro_5763@mail.ru

В статье говорится о микропроцессорных системах, установках для поверки электросчетчиков. Сообщается что, оборудования для проведения поверочных работ нуждаются в технических усовершенствованиях. Массовое использование таких электросчетчиков обостряет необходимость разработки новых способов поверки и новой техники для нее. Текст дает ценную информацию о разработанных установках и о их особенностях. В статье описываются основные проблемы, стоящие перед современной энергетикой, во многом связаны с повышением точности и достоверности учета. Статья представляет интерес для студентов и магистрантов технических вузов.

(The article refers to microprocessor-based systems, installations for testing of electricity meters. It is reported that the equipment for carrying out calibration works require technical improvements. The massive use of electricity exacerbates the need to develop new testing methods and new equipment. The text provides valuable information on the installations and their features. This article describes the main problems facing the modern energy, largely associated with improving the accuracy and reliability of accounting. The article is of interest to undergraduate and graduate students of technical universities.)

Ключевые слова:

Электросчетчик, микропроцессор, установка, поверка, автоматизация, электроэнергия, метрология, погрешность.

(Electric meter, microprocessor, installation, calibration, automation, energy, metrology, error.)

Многофункциональные электросчетчики – основа современного энергоучета. По сравнению с простыми электросчетчиками они имеют ряд дополнительных параметров, базирующихся на их точности. Бесспорно, точность особенно нуждается в поверке. Но контролировать нужно и другие характеристики, в частности – работу по цифровому интерфейсу. Оборудование для проведения поверочных работ нуждается в существенном техническом усовершенствовании.

Целью данной статьи является описать проблемы, связанные с повышением точности и достоверности учета, а также пути решения данных проблем. Поэтому разработки в области поверки и регулировки счетчиков имеют сегодня особую значимость. Но если для простых приборов она состоит в проверке точности, то в случае с многофункциональными электросчетчиками добавляется контроль дополнительных возможностей:

- функционирование интерфейса и оптопорта;
- соответствие информации на ЖК-индикаторе данным памяти;
- работа встроенных часов;
- функционирование модуля расчета данных.
- работа специализированных каналов информации: GSM-модем, радиомодем, передатчик данных по силовой сети.

Актуальностью данной работы является массовое использование таких электросчетчиков, что обостряет необходимость разработки новых способов поверки и новой техники для нее. Уровень сложности метрологического оборудования должен расти вместе с усложнением приборов учета. Вслед за микропроцессорными электросчетчиками модернизируются и автоматизированные установки для их поверки.

Для проверки цифровых модулей электросчетчиков в состав автоматизированной установки вводится персональный компьютер. При этом главная роль отводится программному обеспечению, "отвечающему" за комфортную работу со всеми известными типами электросчетчиков. Оператор выбирает тип электросчетчика из списка и проводит коммутацию силовых и интерфейсных цепей. Остальное делают приборы. Процедуру поверки можно полностью автоматизировать за счет программно управляемых источников тока и напряжения.

Автоматизированная установка сохраняет в памяти результаты проверки цифровой сети электросчетчика и протоколы поверки, допускает изменение калибровочных коэффициентов через программную настройку электросчетчика, позволяя настраивать электросчетчик прямо в процессе поверки.

Основные проблемы, стоящие перед предприятиями производящих, транспортирующих и продающих электроэнергию можно назвать [1]:

1. Необходимость роста класса точности образцовых приборов вследствие роста класса точности рабочих приборов учета. Так, для определения погрешности электронных электросчетчиков метрологическое оборудование должно обеспечивать измерение энергии с погрешностью, не превышающей 1/3 допускаемой погрешности поверяемого электросчетчика. Если раньше в быту использовали электросчетчики класса точности 2,5, то сейчас 2,0 и 1,0. На перетоках электроэнергии все чаще используются рабочие электросчетчики класса 0,2, ранее такая точность была прерогативой только образцового оборудования.

2. Необходимость массовой поверки электросчетчиков - различных по типу, отличающихся по конструкции, выпускаемых разными производителями. Проблема вызвана ростом количества точек, в которых необходим учет энергии с различными дополнительными требованиями к средствам учета и общим ростом числа абонентов. Номенклатура разрабатываемых и выпускаемых средств измерения электроэнергии сегодня чрезвычайно широка, соответственно, велики и трудозатраты по их метрологическому обеспечению. Сложность - в многообразии задач и многофункциональности измерительной аппаратуры.

3. Оперативность поверки. Все чаще энергоснабжающие организации стремятся разрешать возникающие вопросы в присутствии клиентов, по месту установки средств учета. В этом случае не всегда речь идет о полной поверке средства учета, часто достаточно провести несколько измерений, чтобы получить заключение о нахождении электросчетчика в классе точности, правильности подключения, режимах работы измерительных трансформаторов.

4. Автоматизация поверки. Большой объем метрологических работ делает актуальным вопрос повышения производительности метрологической аппаратуры. А возрастающие требования к точности и быстродействию средств измерения вызывают необходимость автоматизации процесса измерений при проведении поверки.

5. Поверка многофункциональных счетчиков электроэнергии. Среди используемых средств учета растет доля многофункциональных электросчетчиков, которые нуждаются в метрологической поверке всех измеряемых энергетических величин, а также проверки работоспособности имеющихся функций.

Подобные проблемы постепенно решаются. Разработаны многофункциональные микропроцессорные установки, которые могут поверять несколько электросчетчиков с разными характеристиками, они более точны и надежны.

Также ведутся работы над созданием малогабаритной установки, позволяющей в автоматизированном режиме поверять все типы электросчетчиков. Она сможет адаптироваться к любым особенностям других электросчетчиков, что сделает ее незаменимой для метрологических служб, обеспечит широкое применение при поверке электросчетчиков в энергосистемах.

В качестве примера можно привести разработки «Энергомера», которые предлагают автоматизированные установки, способные контролировать функции, обусловленные схемотехникой прибора (интерфейс, память и пр.). Это установка ЦУ6804М для массовой поверки многофункциональных одно- и трехфазных электросчетчиков активной и реактивной энергии класса точности до 0,2S. Персональный компьютер установки с набором программного обеспечения учитывает все особенности электросчетчиков производства Концерна «Энергомера». В установке имеется автоматический выбор режима контроля и комплексное чтение информации по цифровому каналу с проверкой данных. Для удобства пользователей по

желанию заказчика можно включить в программное обеспечение информацию о любых типах электросчетчиков других производителей [3].

Проверку приборов учета непосредственно на месте установки [1], правильность их подключения позволяют производить портативный переносной прибор ЦЭ6815 и дооснащенный в последних модификациях токовыми клещами электросчетчик ЦЭ6806П производства «Энергомера».

Рассмотрим отличительные особенности малогабаритной поверочной установки модификации ЦУ6804М [2]:

1. Повышение класса точности. Если предыдущая модификация предназначалась для поверки электросчетчиков класса точности не выше 0,5, то ЦУ6804М осуществляет поверку приборов класса точности от 0,2 (0,2S). Расширенные возможности установки позволяют применять ее для поверки электросчетчиков предприятий и для приборов, применяемых в учете межсистемных перетоков.

2. Повышение уровня достоверности поверочных работ. Диапазон значений коэффициентов мощности, в котором нормируется основная погрешность установки, дифференцирован по режимам работы.

Основная погрешность также различна для разных режимов работы: от $\pm 0,05\%$ (при определении погрешностей электросчетчиков и измерении выходной "фиктивной мощности") до $\pm 0,10\%$ (при определении погрешностей измерительных преобразователей мощности и в режиме калибратора "фиктивной" мощности).

3. Расширены возможности работы персонала с новой установкой. Модель ЦУ6804М может функционировать в трех режимах работы: ручном, полуавтоматическом и автоматическом. В автоматическом и полуавтоматическом режимах работы (без использования ПК) возможно определение погрешностей электросчетчиков или преобразователей мощности (с аналоговым выходом (0-5) мА, (0-20) мА, (4-20) мА, (-5-0+5) мА, (-20-0+20) мА по заранее записанным в энергонезависимую память поверочным таблицам. Использование ПК при работе установки в этих режимах дает дополнительную возможность проверки порога чувствительности и отсутствия самохода поверяемых электросчетчиков. Продолжительность полного цикла поверки электросчетчиков в автоматическом режиме не превышает 8-10 минут.

Диапазоны выходного напряжения (от 20 до 288 В), силы выходного тока (от 0,001 до 10 А) и частоты тока (от 47,5 до 63 Гц) обеспечивают возможность поверки практически всех видов трансформаторных электросчетчиков и измерительных преобразователей мощности. Характеристики сигналов в измерительной (испытательной) сети установки удовлетворяют требованиям государственных стандартов общих технических условий на поверяемые средства измерений.

Для упрощения эксплуатации установки разработана новая версия программного обеспечения верхнего уровня. Она обеспечивает накопление результатов текущих измерений, представление их в виде таблиц или графиков, выполнение анализа измерений, оформление результатов в форме протоколов, хранение их в базе данных, вывод на печать и обработку результатов измерений с применением математической статистики.

Новая установка, как и предыдущая модель, выпускается в двух исполнениях: ЦУ6804М (базовый блок) и ЦУ6804МС (базовый блок и стенд на три поверочных места с комплектом соединительных кабелей). Базовый блок установки представляет собой законченный прибор со встроенными стабилизированными источниками тока напряжения. Его размеры 460x440x290 мм, масса – не более 40 кг.

Следовательно, мы приходим к выводу, что правильность поверки отражается на работоспособности приборов и на работе в целом. Современные поверочные микропроцессорные системы облегчают жизнь и отличаются быстродействием. Наряду с повышением уровня автоматизации, эти установки позволяют производить массовую поверку метрологических характеристик и проверку функционирования режимов микропроцессорных электросчетчиков в комплексе, потому что современные электросчётчики сейчас модернизированные и параметры для поверочных работ возрастает. Вот почему разработки в области поверки и регулировки счетчиков электроэнергии имеют сегодня особую значимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журнал "Мир измерений" N10 2004 г.
2. Журнал «Промышленная энергетика» N5 2004 г.//Журнал «Новости электротехники» N3 2004 г.
3. Журнал «Мир измерений» N6 2005 г.

Сведения об авторах

Нысанбаева Р.О.: г.Томск, магистрант группы 1БМ32, Приборостроение, Институт неразрушающего контроля, кафедра –информационно-измерительная техника, Томский политехнический университет.

УДК 528.9: 004

**О РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО
КАДАСТРА НЕДВИЖИМОСТИ
(ABOUT DEVELOPMENT OF INFORMATION SUBSYSTEM OF THE STATE
IMMOVABLE PROPERTY CADASTRE)**

А.И. Павлова, Т.Н. Матышева
A.I. Pavlova, T.N. Matysheva

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Россия
E-mail: annstab@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы создания документов государственного кадастра недвижимости в электронном виде. Была разработана информационная подсистема для создания и редактирования документов государственного кадастра недвижимости на основе объектно-ориентированного языка C# в среде Microsoft Visual Studio 2010.

(In this article problems of creation of documents of the State Immovable Property Cadastre in electronic form are considered. We developed information subsystem for creation and editing documents of the State Immovable Property Cadastre on the basis of the object-oriented C# language in the environment of Microsoft Visual Studio 2010.)

Ключевые слова:

Государственный кадастр недвижимости, кадастровая выписка, xml-файлы, земельный участок.
(State Immovable Property Cadastre, cadastral extract, xml-files, parcels.)

Государственный кадастр недвижимости (ГКН) представляет собой систематизированный свод сведений об объектах недвижимости, к которым относятся земельные участки и их части, здания и сооружения, расположенные на земельных участках. Постановка земельных участков на государственный кадастровый учет и регистрация прав собственности является одним из механизмов регулирования земельно-имущественных отношений в России и за рубежом [1-2]. Сведения об объектах недвижимости включают кадастровый номер, площадь, категорию земель, кадастровую стоимость и др. Кадастровая оценка земель необходима для формирования налога на землю [3], осуществления мероприятий по рациональному использованию земель [4-5].

Среди основных принципов ведения ГКН выделяют: открытость сведений, единство технологии, актуальность и достоверность сведений, использование современных технологий формирования при формировании документов. С этой целью в России ведутся работы по созданию автоматизированной информационной системы ведения государственного земельного кадастра недвижимости (АИС ГКН), направленной на автоматизацию работ по формированию документов ГКН.

К числу основных документов, необходимых для постановки земельного участка на государственный кадастровый учет, относится кадастровая выписка. На практике широко востребованы услуги по предоставлению сведений из Единого государственного реестра прав и ГКН в форме электронного документа, заверенного цифровой подписью кадастрового инженера. Данный электронный документ формируется в виде xml-файлов и отправляется в органы кадастрового учета по сети Интернет. Это позволяет значительно сократить время предоставления государственной услуги при выдаче сведений об объекте недвижимости и постановке его на государственный кадастровый учет.

Формат xml-файлов широко распространен и используются для хранения и передачи информации по сети Интернет, а также между информационными системами различного назначения. Сведения о содержании файла могут повторно использованы на различных компьютерах и в различных приложениях. XML (англ. eXtensible Markup Language) – это расширяемый язык разметки, рекомендованный Консорциумом Всемирной паутины (W3C) язык разметки. Спецификация XML описывает XML-документы и частично описывает

поведение XML-процессоров (программ, читающих XML-документы и обеспечивающих доступ к их содержимому). XML разрабатывался как язык с простым формальным синтаксисом, удобным для создания и обработки документов программами и одновременно удобным для чтения и создания документов человеком распространения в Интернете. По структуре документ схож сHTML-страницей, содержит инструкции, заключенные в угловые скобки или теги для разметки основного текста документа. XML - теги предназначены для определения элементов документа, их атрибутов и других конструкций языка. Используются открывающие, закрывающие и пустые теги[6].

При получении сведений об объектах недвижимости от органов кадастрового учета возникают трудности, связанные с чтением xml-файла и его редактирования. На рис.1 приведен фрагмент xml-файла, на котором не корректно «читаются» узлы, элементы и атрибуты файла.

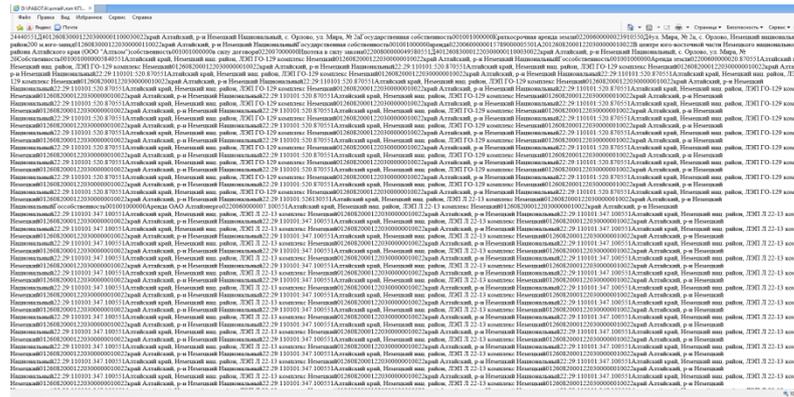


Рис. 1. Пример xml-файла со сведениями об объектах недвижимости

Открыть xml-файл можно обычным с помощью блокнота или любым браузером. Однако при этом пользователь получает огромный список данных, в котором будет практически невозможно разобраться.

Для решения этой проблемы была разработана информационная подсистема на основе языка объектно-ориентированного языка C# в среде MicrosoftVisualStudio 2010. В представленной программе созданы три формы. Первая форма «Сведения ГКН» используется для предоставления основной информации об объектах недвижимости, вторая форма «Схема данных» отражает схему данных xml-файла, а третья форма «Редактирование» направлена на редактирование необходимой информации и ее сохранение.

На форме «Сведения ГКН» находится таблица «Сведения о земельных участках в границах кадастрового квартала», которая отображает информацию xml-файла. Это позволяет пользователю открыть xml-файл в корректной форме с отображением его структуры, т.е. узлов, элементов и атрибутов, а также выполнить поиск необходимой информации об объекте недвижимости по его кадастровому номеру. Разработанная программа позволяет также управлять содержимым xml-файла путем навигации по строкам таблицы (рис.2).

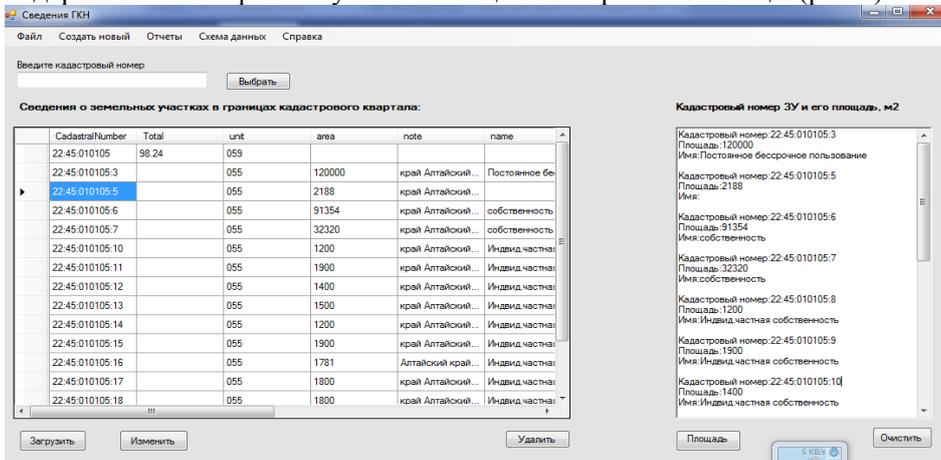


Рис. 2. Пример работы программы для корректного чтения xml-файла

со сведениями об объектах недвижимости

Разработанная программа, позволяет пользователю прочитать схему данных xml-файла со сведениями об объектах недвижимости, а также выполнять редактирование сведений об объектах недвижимости (рис. 3).

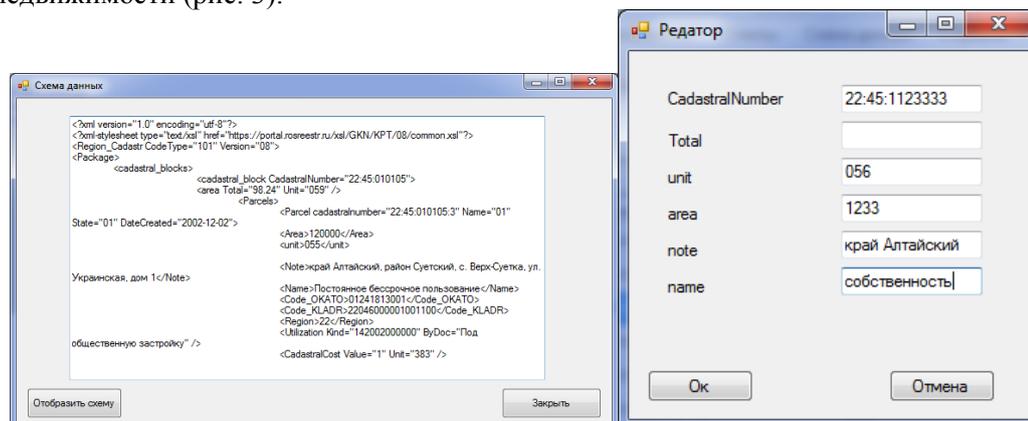


Рис. 3. Пример работы программы при представлении схемы данных и редактирования сведений об объектах недвижимости

Программа нашла практическое применение на геодезическом предприятии ООО «Запсибгеодезия» г. Новосибирска. Использование программы позволяет корректно и быстро формировать электронные документы в виде xml-файлов, содержащие необходимые сведения об объектах недвижимости для кадастровой выписки с учетом требований ГКН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 24.07.2007 N 221-ФЗ (ред. От 23.07.2013, с изм. От 23.06.2014) «О государственном кадастре недвижимости» (с изм. И доп., вступающим в силу с 01.01.2014).
2. Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Новосибирской области. [Электронный ресурс] URL: http://www.to54.rosreestr.ru/news/pravogazyasnitelnye_materialy/4418330/
3. Зверев Л.А., Каличкин В.К., Павлова А.И. Об оценке сельскохозяйственных земель // Геодезия и картография, 2003.- № 5.- С. 51-56.
4. Павлова А.И., Каличкин В.К. Автоматизированное картографирование сельскохозяйственных земель с помощью нейронной экспертной системы, интегрированной с ГИС// Достижения науки и техники АПК, 2001.- №1.- С.5-7.
5. Каличкин В.К., Павлова А.И. Автоматизированное проектирование севооборотов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2008.- № 12.- С. 5-11.
6. Эдди С. XML: справочник. – СПб.:БХВ-Петербург, 2001. – 261 с.

Сведения об авторе:

Павлова А. И.: г. Новосибирск, к.т.н., доцент кафедры прикладных информационных технологий, Новосибирский государственный университет экономики и управления, e-mail: annstab@mail.ru

Матышева Т.Н.: г. Новосибирск, студент кафедры прикладных информационных технологий, Новосибирский государственный университет экономики и управления

УДК 621.371.2.01

**ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
УГОЛКОВОЙ АНТЕННЫ
(OPTIMIZATION PROBLEMS PARAMETERS NONSTATIONARY ANGLED ANTENNA
RADIATION)**

М.А. Пономарева
M. Ponomareva

Национальный исследовательский Томский государственный университет
E-mail: ponomareva@sibmail.com

В настоящее время большое распространение получают сверхширокополосные системы. В частности, большой интерес представляет подробное исследование характеристик излучения уголковой антенны в режиме сверхширокополосного излучения. В данной работе для решения задачи о сверхширокополосном излучении дипольного источника, расположенного внутри идеально проводящего двугранного угла, использован метод зеркальных изображений. На основе полученных соотношений проводился расчет распределения поля на больших удалениях от дипольного источника в пределах всей угловой области. Расчеты показали наличие выраженной зависимости структуры поля от величины раскрытия двугранного угла; местоположения и пространственной ориентации дипольного источника; временной формы импульса тока, возбуждающего источник; его длительности и спектрального состава.

(Currently, more common UWB systems. Thus, great interest is the detailed study of the characteristics of the radiation antenna angled mode UWB radiation. In this paper, to solve the problem of UWB radiation dipole source located inside a perfectly conducting dihedral angle and arbitrarily oriented in space, we used the method of mirror images. Based on the calculation of the distribution ratios held the field at large distances from the dipole source over the entire angular region. Calculations confirmed the presence of severe, depending on the size of the structure of the field aperture dihedral angle; location and spatial orientation of the dipole source; temporal pulse shape of the current excitation source; its duration and spectral composition.)

Ключевые слова:

Уголковая антенна, сверхширокополосное излучение, метод зеркальных изображений, нестационарное излучение, диполь Герца.

(Angled antenna, UWB radiation, method of mirror images, non-stationary radiation, Hertz dipole)

Решение задачи об излучении нестационарного распределения токов внутри идеально проводящего двугранного угла было получено в работе [1]. Однако использованный довольно сложный математический аппарат затрудняет исследование характерных свойств излучения. В то же время, в работах, касающихся задачи обеспечения направленного сверхширокополосного излучения для таких приложений как сверхширокополосные системы связи, ближняя радиолокация, радиотомография формулируются новые проблемы прикладного характера.

В данной работе для решения задачи о сверхширокополосном излучении дипольного источника, расположенного внутри идеально проводящего двугранного угла использован метод зеркальных изображений. В его актив можно отнести весьма простую структуру окончательных расчетных соотношений. А именно, исходная сложная граничная задача сводится к проблеме суммирования полей дипольного источника и конечного числа его зеркальных изображений в гранях угла.

Имеется уголковая антенна направленного действия, которая содержит рефлектор с углом раскрытия γ и облучатель (рис. 1).

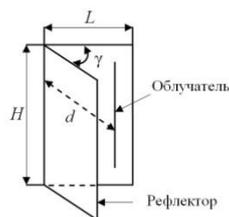


Рис. 1. Угловая антенна

В качестве облучателя угловой антенны используются либо одиночный вибратор, либо сложная многовибраторная антенна. Поле, излученное угловой антенной, является суммой полей создаваемых облучателем и вторичными токами, текущими по поверхности рефлектора.

Параметры угловых антенн достаточно просто рассчитываются в том случае, когда излучаемый антенной сигнал является узкополосным, а облучатель линейным вибратором, параллельным ребру углового рефлектора. Как показывают расчеты, и экспериментальные исследования диаграмма направленности антенны существенно зависит от отношения d/λ , где d - расстояние от облучателя до ребра рефлектора, λ - длина волны. В инженерной практике высота рефлектора H выбирается несколько большей, чем длина облучателя, а ширина грани рефлектора L - не меньше λ . При этом, чем меньше угол γ , тем больше должен быть размер L . В результате расчетов установлено, что отношение d/λ следует выбирать в следующих пределах: 0,25...0,75 при $\gamma = 90^\circ$; 0,35...0,8 при $\gamma = 60^\circ$; 0,5...1,1 при $\gamma = 90^\circ$ [2]. Со стороны малых значений отношение d/λ ограничено значительным снижением сопротивления излучения, со стороны больших значений – нежелательным искажением формы диаграммы направленности. Как показывают расчеты, при правильном выборе угла γ и расстояния d максимальное излучение получается в направлении биссектрисы угла γ . Конструктивная простота угловой антенны позволяет при ее незначительных размерах получить диаграмму направленности шириной до 20° (по уровню половинной мощности).

В настоящее время большое распространение получают сверхширокополосные системы. В этом случае спектр сигнала облучателя занимает очень широкую полосу частот. Причем в зависимости от временной формы сигнала может оказаться обогащенной либо низкочастотная, либо высокочастотная части спектра. Поэтому, согласно сказанному выше, условия излучения указанных частей спектра сигнала в значительной степени отличаются. Это обстоятельство оказывает решающее влияние на временную форму излученного сигнала.

Таким образом, большой интерес представляет подробное исследование характеристик излучения угловой антенны в режиме сверхширокополосного излучения. А именно, выяснение как будут зависеть характеристики излучения от угла раскрытия γ , положения облучателя d , временной формы сигнала и т.д.

Строгий анализ направленных свойств угловой антенны конечных размеров весьма сложен, он требует знания распределения токов на поверхности рефлектора. Однако в частном случае, когда грани рефлектора, являются бесконечными и идеально проводящими можно воспользоваться методом зеркальных изображений. Согласно этому методу исходная излучающая структура заменяется эквивалентной ей структурой, содержащей облучатель и конечное число его изображений в гранях рефлектора. При этом количество излучателей «изображений» n и угол раскрытия рефлектора γ связаны соотношением $\gamma = 180^\circ/n$, а результирующее электромагнитное поле является суперпозицией полей, создаваемых всеми излучателями.

Для примера на рис. 2 показано взаимное расположение действительного облучателя и его зеркальных изображений в том случае, когда $\gamma = 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ [3]. Для случая, когда угол раскрытия $\gamma = 60^\circ$, действительный облучатель 1 и изображения 2-6 показаны в виде точек. В данном случае угловой рефлектор заменяется пятью фиктивными излучателями 2,3,4,5,6. Токи фиктивных излучателей 3 и 5 совпадают по фазе с токами действительного излучателя 1. А токи фиктивных излучателей 2,4,6 отличаются по фазе относительно этого тока на 180° . На рис. 2 указанные соотношения фаз токов действительного и фиктивных излучателей обозначены знаками «+» и «-».

В рамках такого подхода, задача нахождения результирующего поля может быть решена с помощью математического аппарата использованного нами для решения задачи о

нестационарном излучении кольцевых и дисковых источников [4]. В его актив можно отнести весьма простую структуру окончательных расчетных соотношений.

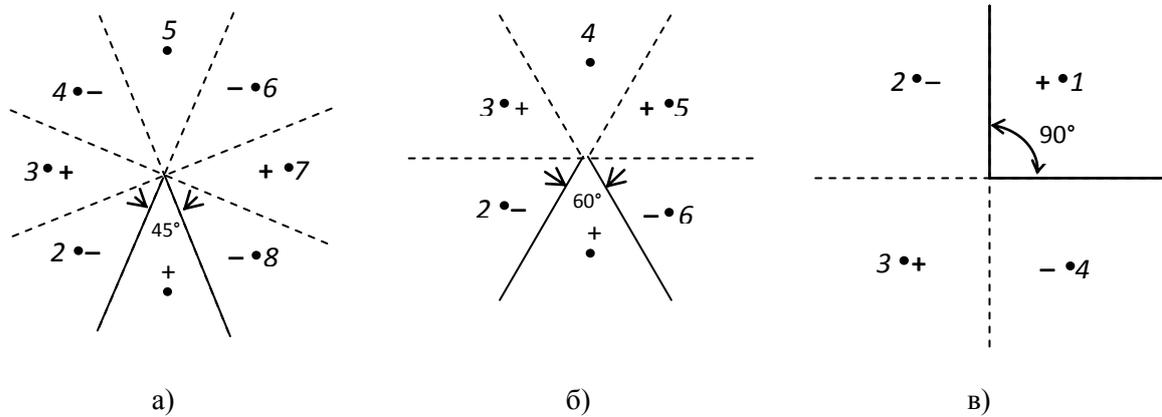


Рис. 2. Облучатель и его зеркальные изображения при различных углах раскрытия γ уголкового антенны: а – 45° ; б – 60° ; в – 90° [3]

В данной излучающей структуре в роли облучателя используется электрический диполь Герца, который представляет собой идеализированную модель реальной антенны в виде короткого проводника с закрепленными на концах металлическими шарами. Предполагается, что на шарах сосредоточены изменяющиеся во времени заряды $+q(t)$ и $-q(t)$, чем обеспечивается равномерность распределения тока $i(t)$ вдоль проводника в любой момент времени. Если ориентацию диполя и его длину задать вектором \mathbf{s} , то выражения для возбуждаемых диполем магнитного $\mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$ и электрического $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t)$ полей, которые приведены в [5] для частного случая ориентации диполя можно записать в форме представлений, справедливых при любой ориентации диполя (последняя задается вектором \mathbf{s}):

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \frac{s}{4\pi c} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dt} i(t - \frac{r}{c}) + \frac{c}{r^2} i(t - \frac{r}{c}) \right] \frac{[\mathbf{s}, \mathbf{r}]}{sr}, \quad (1)$$

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{\mu_0 s}{4\pi} \left\{ \frac{1}{r} \frac{di(t')}{dt} \frac{[\mathbf{r}, [\mathbf{r}, \mathbf{s}]]}{sr^2} + \left[\frac{c}{r^2} i(t') + \frac{c^2}{r^3} \int i(t') dt' \right] \left[\frac{[\mathbf{r}, [\mathbf{r}, \mathbf{s}]]}{sr^2} + \frac{2(\mathbf{s}, \mathbf{r})\mathbf{r}}{sr^2} \right] \right\}. \quad (2)$$

В (1) и (2) \mathbf{r} - радиус вектор точки наблюдения, t - время, s - длина вектора \mathbf{s} , c - скорость света, μ_0 - магнитная проницаемость свободного пространства, $t' = t - r/c$ имеет смысл так называемого запаздывающего времени.

С использованием соотношений (1) и (2) и метода зеркальных изображений проводился расчет распределения поля на различных удалениях от дипольного источника в пределах всей угловой области.

В качестве примера на рисунках 3 - 5 приведены результаты расчетов напряженности электрического поля для случая, когда диполь ориентирован параллельно ребру уголкового рефлектора с углом раскрытия $\gamma = 90^\circ$. При этом расстояние от ребра до диполя составляет $a = 1$, а до точки наблюдения R . Временное изменение импульса тока задавалось лягеровским импульсом $i(t) = (t/T)^2 (1 - t/3T) \exp(-t/T)$, где t - время, измеряемое в наносекундах, $T = a/4c$ - параметр.

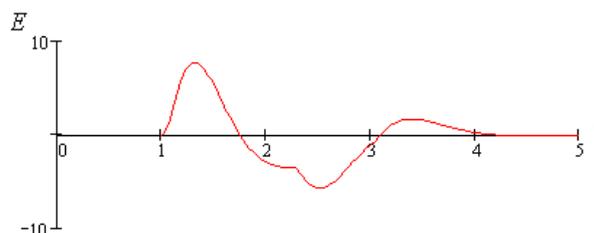


Рис. 3 Временная зависимость напряженности электрического поля для уголкового антенны при $R = 2a$

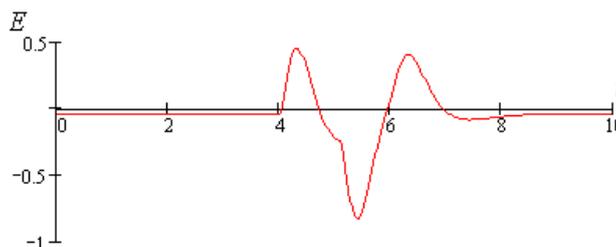


Рис. 4. Временная зависимость напряженности электрического поля для уголкового антенны при $R = 5a$

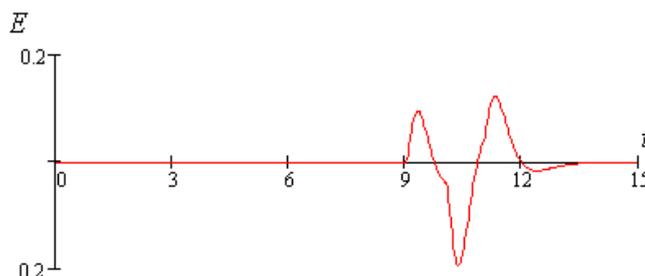


Рис. 5. Временная зависимость напряженности электрического поля для уголкового антенны при $R = 10a$

Из приведенных зависимостей отчетливо видно, что поле излучения, как и должно быть, имеет равновесный характер. Прослеживается выраженная зависимость структуры поля от величины раскрыва двугранного угла γ , местоположения и пространственной ориентации дипольного источника, временной формы импульса тока, возбуждающего источник, его длительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов В.В. Неустановившиеся электромагнитные поля в двугранном угле // Радиотехника и электроника. – 1990. – Т. 35. – № 12. – С. 2626-2630.
2. Ротхаммель К. Антенны: в 2-х т./ К. Ротхаммель. Т.2. – Данвел, 2005. – 414 с.
3. Айзенберг Г.З. Антенны УКВ: в 2-х ч./ Г.З. Айзенберг, В.Г. Ямпольский, О.Н. Терешин. Ч.2. – М.: Связь., 1977. – 288 с.
4. Беличенко В.П., Пономарева М.А. Простой метод решения задачи о нестационарном излучении кольцевых и дисковых излучателей // Изв. вузов. Физика, 2012. – Т. 55. – № 8/2. – С. 33-34.
5. Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В. Электромагнитные поля и волны, изд. 2-е, перераб. и доп. М.: "Советское радио", 1971. – 664 с.

Сведения об авторе:

Пономарева М.А.: г.Томск, НИ ТГУ, аспирант, электродинамика нестационарных процессов, сверхширокополосные излучающие системы, e-mail: ponomareva@sibmail.com

УДК 004.9

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ
ТОРГОВОЙ СТРАТЕГИИ НА ФИНАНСОВОМ РЫНКЕ
(USE OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES AT TRADING STRATEGY IN THE
FINANCIAL MARKET)**

М.Э. Фатьянова, М.Е. Семенов
M. Fatyanova, M. Semenov

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: mef1@tpu.ru

Современные информационные технологии открывают новые возможности прибыльного инвестирования в финансовые рынки. Возросшие вычислительные мощности компьютеров позволили использовать сложный математический аппарат, который, в свою очередь, дает возможности отказаться от прогнозов на финансовых рынках. Ведь до недавнего времени вся логика биржевых спекуляций строилась в надежде на рост/падение стоимости биржевого актива. Сейчас можно получать спекулятивную прибыль и без прогноза на повышение/понижение стоимости актива.

Цель данной работы – 1) провести анализ автоматизированных торговых систем для управления финансами; 2) создать и протестировать торговую систему в Equis International MetaStock. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: 1) проанализировать особенности торговых систем; 2) привести сравнительную статистику доходностей торговых систем; 3) привести рекомендации по использованию данных систем; 4) создать и протестировать торговую систему в Equis International MetaStock. В работе были использованы методы исследования: анализ и сравнение торговых систем (стратегий), наблюдение, методы математической статистики, написание макроса торговой системы. В работе проанализирован инвестиционный продукт iSmart, приобретая который клиент получает консультационные услуги, стратегию управления и доступ к личному кабинету. В личном кабинете реализован необходимый функционал для организации управления финансами через веб-браузер. Также создана торговая стратегия на основе скользящих средних.

(Modern information technologies open new possibilities of profitable investment in the financial markets. The increased computing capacities of computers have allowed using the complex mathematical device, which, in turn, allows a possibility to refuse forecasts in the financial markets. In fact, until recently all logic of exchange gamble was under construction in hope for growth/falling of cost of an exchange active. Now it is possible to receive speculative profit and without the forecast for increase/lowering of cost of an active.)

Objective of the given work – 1) to lead the analysis of the automated trading systems for management of the finance; 2) to create and test trading system in Equips International MetaStock. For achievement of objective following problems have been put: 1) to analyses features of trading systems; 2) to result comparative statistics of profitableness's of trading systems; 3) to result recommendations on use of the given systems; 4) to create and test trading system in Equis International MetaStock. In work, investigative techniques have been used: the analysis and comparison of trading systems (strategy), supervision, methods of mathematical statistics, a writing макроса trading system. In work the investment product iSmart is analysed, getting which client receives consulting services, strategy of management and access to a personal cabinet. In a personal cabinet, it is realized necessary function for the organization of management by the finance through a web-browser. Also trading strategy because of sliding averages is created.)

Ключевые слова:

Торговая система, стратегия, iSmart, MetaStock, оптимизация.
(Trading system, strategy, iSmart, MetaStock, optimization.)

Современные информационные технологии раскрывают перед инвесторами более широкие возможности использования компьютеров и математического аппарата для создания устойчивых торговых стратегий на финансовом рынке. Логическим завершением таких стратегий являются торговые роботы, которые многократно упрощают работу инвестора и стабилизируют его доходность в критические периоды финансового рынка.

Как показывает история, фундаментальный анализ не всегда мог предсказать приближение финансовой катастрофы. Конечно, нельзя полностью отвергать положительные

стороны фундаментального анализа. Однако современные информационные технологии открывают новые возможности прибыльного инвестирования в финансовые рынки.

Торговая система (стратегия) – это алгоритм, позволяющий а) выявить устойчивые тенденции ценовых движений на финансовом рынке и б) сгенерировать сигнал об открытии или закрытии торговой позиции. Анализ торговых стратегий проведем на примере инструмента iSmart, предлагаемого инвестиционной компанией ООО «Брокеркредитсервис» [1].

Инструмент iSmart – консультационный продукт брокерского обслуживания, позволяющий формировать инвестиционный портфель из инструментов международного рынка. Продукт iSmart включает три различные стратегии: алгоритмическую, фундаментальную и защищенную. В большей степени данные стратегии ориентированы на клиентов, которые хотят получать долларовую доходность. Однако, для тех клиентов, желающих получать рублевую доходность предусмотрена возможность «валютного хеджирования» позиций путем открытия короткой позиции по валютной паре USD/RUR (защищенная стратегия). Стратегии подбираются согласно риск-профилю клиента.

Риск-профиль клиента. Для выбора стратегии необходимо определить риск-профиль клиента. В рамках продукта iSmart доступно пять риск-профилей: консервативный, умеренно-консервативный, умеренный, умеренно-агрессивный, агрессивный [2].

Консервативный риск-профиль ограничивает максимальные потери (просадку) по счету клиента до 5% и позволяет получить потенциальную доходность на уровне 12% годовых.

Умеренно-консервативный риск-профиль ограничивает просадку по счету клиента до 8% и позволяет получить потенциальную доходность на уровне 16-18% годовых.

Умеренный (рациональный) риск-профиль подходит для инвесторов, основной целью которых является минимизация рисков и получение доходности, превышающей банковский депозит. Стратегии в данном риск-профиле предусматривают риск до 10% и позволяют получить потенциальную доходность на уровне 25% годовых. Для максимального снижения риска заемные средства в портфеле не используются, то есть торговля ведется без плеча. Диверсификация в портфеле достигается за счет использования до 60 бумаг, при этом вес каждой бумаги не превышает 3%.

Умеренно-агрессивный риск-профиль подходит для инвесторов, которые желают не отставать от рынка во время периодов его роста и зарабатывать или хотя бы меньше терять в периоды его падения. Стратегии в данном риск-профиле предусматривают риск до 15% и позволяют получить потенциальную доходность на уровне 35% годовых. Для увеличения результатов используются заемные средства (торговля ведется с плечом 1:1). Диверсификация в портфеле достигается за счет использования до 60 бумаг, при этом вес каждой бумаги не превышает 6% [2].

Агрессивный риск-профиль подходит для инвесторов, которые хотят максимизировать доходность. Стратегии в данном риск-профиле предусматривают риск до 25% и позволяют получить потенциальную доходность на уровне 40% годовых. Для увеличения результатов используются заемные средства (плечо 1:2). Диверсификация в портфеле достигается за счет использования до 60 бумаг, при этом вес каждой бумаги не превышает 10%.

Перейдем теперь к рассмотрению и анализу особенностей различных стратегий в рамках инструмента iSmart.

Торговые стратегии. *Алгоритмическая стратегия* – это стратегия, в которой торговые сигналы генерируются и исполняются автоматически на основе определенных правил (алгоритмов). Торговля совершается на основе технического анализа и носит спекулятивный характер [3-5]. Данная стратегия предусматривает использование длинных (long) и коротких (short) позиций. В состав портфеля может входить до 60 ценных бумаг с равными долями, ограничение убытков (stop-loss) задается на уровне 10% от текущего уровня. В рамках данной стратегии в зависимости от специфики ценовых движений идет переключение между трендовыми и контртрендовыми алгоритмами: в период восходящего или нисходящего тренда подключаются трендовые алгоритмы; в период бокового движения – контртрендовые. Состав портфеля пересматривается ежеквартально: если ценная бумага перестает удовлетворять одной из характеристик (ликвидность инструмента, волатильность, надежность эмитента, перспективность с точки зрения ожидаемой динамики), то она исключается из портфеля и заменяется на другую, удовлетворяющую требованиям. Количество сделок в данной стратегии

зависит от волатильности рынка: чем выше будет волатильность, тем чаще будут совершаться сделки. На рис. 1 (нижний график) приведены статистические данные (2006-2014 гг.) по алгоритмической стратегии для рационального риск-профиля. Данная стратегия показывает постепенно увеличивающуюся доходность.



Рис. 1. Сравнение стратегий рационального риск-профиля

Фундаментальная стратегия – это стратегия, в которой торговые сигналы генерируются экспертами компании на основе фундаментального анализа [6]. Специфика стратегии заключается в том, что аналитики компании формируют набор инструментов (и их веса), которые автоматически добавляются в портфель клиента. В данной стратегии клиент придерживается принципа Buy & Hold (купи и держи). Для каждого инструмента определены целевые уровни, при достижении которых будет открытая позиция будет закрыта. Максимальное количество акций, входящих в портфель клиента, не превышает 20. На рис. 1 (верхний график) приведены статистические данные с момента запуска фундаментальной стратегии для рационального риск-профиля. Фундаментальная стратегия имеет нисходящий тренд, в первом квартале 2015 года наблюдается цикличность (рис. 1).

Принцип формирования портфеля по *защищенной стратегии* аналогичен рассмотренной выше алгоритмической стратегии. Ключевое отличие – возможность использовать инструменты срочного рынка для хеджирования валютного риска. При этом 90% средства клиента направляется на совершение спекулятивных операций на американском рынке, а 10% на открытие короткой позиции на фьючерс на валютную пару USD/RUR, что позволяет зафиксировать текущий курс доллара к рублю. На рис. 1 (таблица справа) приведены статистические данные защищенной стратегии с 2006 года для рационального риск-профиля. Отметим, что в данной стратегии предусмотрена только рублевая доходность.

Иллюстративные примеры. На рис. 2 приведено сравнение доходностей стратегий за последние 12 месяцев. Алгоритмическая стратегия показывает отрицательную доходность, фундаментальная стратегия показывает положительную доходность на уровне 2-3% от первоначального капитала. Наилучшим образом из представленных стратегий выглядит защищенная стратегия, в первом квартале 2015 года стратегия показывает доходность на уровне 15% и выше.



Рис. 2. Сравнение стратегий рационального риск-профиля за 12 месяцев

На рис. 3 приведены доходности описанных стратегий для трех риск-профилей и различных горизонтов инвестирования (1 неделя, 1 месяц, 3 месяца и 12 месяцев). Видно, что на горизонте 12 месяцев защищенная стратегия показывала доходность в разы превышающую доходности других стратегий.

Риск-профиль	Стратегия	За неделю	За 1 месяц	За 3 месяца	За 12 месяцев
Рациональный	Алгоритмическая	2,78%	1,00%	-1,16%	6,28%
	Фундаментальная	3,11%	2,31%	1,67%	-0,62%
	Защищенная	3,37%	1,60%	0,47%	18,99%
Умеренно-агрессивный	Алгоритмическая	5,60%	1,93%	-2,51%	11,54%
	Фундаментальная	6,29%	4,59%	3,21%	-1,54%
	Защищенная	7,00%	2,63%	-1,49%	26,90%
Агрессивный	Алгоритмическая	8,47%	2,79%	-3,84%	15,27%
	Фундаментальная	9,39%	6,11%	2,87%	-5,77%
	Защищенная	10,79%	3,63%	-3,31%	32,50%

Рис. 3. Сравнение доходностей стратегий для различных горизонтов инвестирования

Перейдем к выполнению второй цели данной работы. Рассмотрим создание и тестирование торговой системы.

Equis International MetaStock - самая известная программа для технического анализа рынка; программный пакет, предназначенный для анализа рынков акций и производных инструментов. Представляет собой новый стандарт для профессиональных трейдеров, позволяющий проводить торговые операции в реальном времени. При помощи этой программы трейдеры могут создавать, тестировать и полностью автоматизировать свои торговые системы, достигая тем самым максимальной прибыльности при проведении сделок. В дополнение они смогут пользоваться всеми популярными возможностями программы.

В Metastock встроен специализированный макроязык, который используется для определения и создания пользовательских функций, индикаторов пользователя, фильтров, экспертов (советников), а также торговых стратегий. Этот язык был создан по образцу популярных языков электронных таблиц и очень напоминает по своему синтаксису язык программирования Pascal. Простейшие формулы в Metastock состоят из функций высокого уровня (например, $mov()$, $rsi()$, $abs()$), математических операторов (например, $+$, $-$, $/$, $*$) и параметров (например, Close, High, Low, Open и т. д.). Кроме этого макроязык содержит логические операции (and, or и т.д.) с помощью которых можно записывать сложные (составные) условия [7].

В программе Metastock заложена возможность использования **Советника** (Expert Advisor), который позволяет записать различные условия и для каждого из них назначить свой способ графического или звукового оповещения.

Программный пакет Metastock позволяет производить испытания и сравнительный анализ предварительно запрограммированных стратегий. При создании собственной торговой системы программа Metastock позволяет настраивать следующие параметры: 1) возможность расширения и сокращения позиции; 2) выбор типа и условий исполнения ордеров; 3) расчёт размера (объёма) позиции; 4) использование стоп-ордеров [7].

Создадим реверсную торговую систему CrossEMA_5_21, которая подает сигналы для входа и выхода в позицию при пересечениях 5- и 21-периодной экспоненциальной скользящей средней (рис. 4).

	Открываем	Закрываем
Длинная позиция	$Mov(C,5,E) > Mov(C,21,E)$	$Mov(C,5,E) < Mov(C,21,E)$
Короткая позиция	$Mov(C,5,E) < Mov(C,21,E)$	$Mov(C,5,E) > Mov(C,21,E)$

Рис. 4. Пример торговой системы

Также в условии сигнала можно заменить числовые параметры переменными и сравнить результаты работы системы для различных значений параметров. Например, условие $Mov(C,5,E) > Mov(C,21,E)$ можно переписать, заменив значение периода переменной $Mov(C,OPT1,E) > Mov(C,OPT2,E)$. Для переменной необходимо установить диапазон значений и шаг.

В данной работе OPT1 изменяется от 1 до 5 с шагом 1, OPT2 от 1 до 21 с шагом 1.

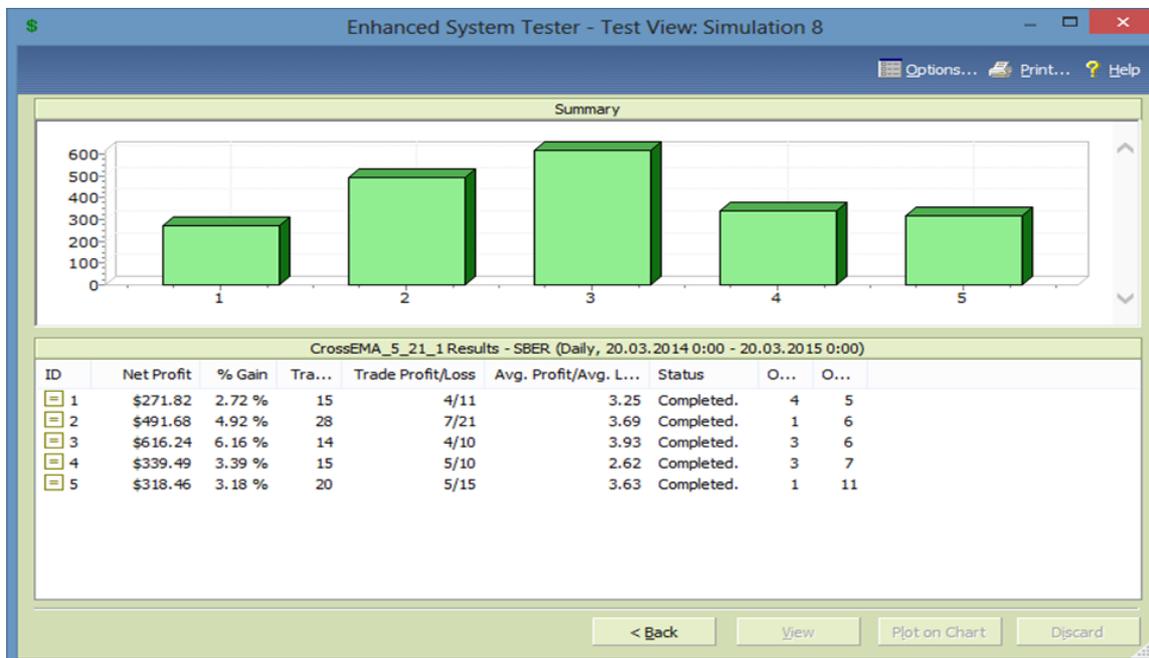


Рис. 5. Результат работы торговой системы

В результате получено, 5 торговых систем, из которых третья является самой оптимальной при параметрах OPT1=3, OPT2=6. Суммарная полученная прибыль оказалась равной 616,24 доллара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайт финансовой компании ООО «БКС» [Электронный ресурс] // URL: www.bcs.ru (дата обращения: 15.05.15).
2. Фатьянова М.Э., Семенов М.Е. Разработка инвестора с консервативным рисковым профилем // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – URL: www.science-education.ru/117-13608 (дата обращения: 20.03.2015).
3. Швагер Д. Технический анализ. Полный курс. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 805с.
4. Ковел М. Биржевая торговля по трендам. Как заработать, наблюдая тенденции рынка. – СПб.: Питер, 2011. – 344 с.
5. Мерфи Д. Технический анализ финансовых рынков. – М.: Вильямс, 2012. – 489 с.
6. Шарп У.Ф., Александер Г., Бэйли Д. В. Инвестиции. – М.: Издательство: Инфра-М, – 2010. – 1024 с.
7. Сайт Metastock Analysis tools for traders of all levels [Электронный ресурс] // URL: <http://www.metastock.com/default.aspx> (дата обращения: 15.05.15).

Сведения об авторах:

Фатьянова М.Э.: г. Томск, магистрант гр. 0ВМ41 кафедры Высшей математики и математической физики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Семенов М.Е.: г. Томск, к.ф.-м.н., доцент кафедры Высшей математики и математической физики Национального исследовательского Томского политехнического университета.

УДК 662.997.05(043)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА НОВОЙ
КОНСТРУКЦИИ
(THERMAL MODELING AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF FLAT-PLATE
SOLARCOLLECTOR WITH
A NEW STRUCTURE)**

Пань Янъян
Pan Yangyang

Томский политехнический университет
E-mail: pan_23@foxmail.com

Солнечная энергетика является одной из отраслей применения плоского коллектора. Для солнечной энергоустановки с конденсаторным устройством, оценка работоспособности коллектора особенно необходима. В данной работе представлены плоский солнечный коллектор новой конструкции и модель для инженерного расчета коэффициента теплопередачи. Разработаны аналитическое выражение и экспериментальный метод для определения коэффициента теплопередачи.

(Solar energy is one of the application fields of flat-plate collector. For solar power plant with concentrators, it is especially necessary to estimate the efficiency of collector. In this paper flat-plate collector with a new structure and thermal modeling for engineering calculation are presented, analytic expression and test method for the evaluation of heat transfer coefficient are studied.)

Ключевые слова:

Солнечная энергетика, плоский солнечный коллектор, коэффициент теплопередачи, экспериментальный метод, канал с прямоугольным сечением.

(Solar energy, flat-plate solar collector, heat transfer coefficient, test method, channel with rectangular cross section)

Осуществляя выработку электроэнергии и теплоэнергии, гибридная солнечная батарея стала одним из самых эффективных средств для преобразования солнечной энергии. Для гибридной солнечной батареи, представляющей собой комбинацию фотоэлектрического модуля и коллектора, во избежание перегрева солнечных элементов и для совместимости с климатическим условиям, необходимо предварительно оценить механизм теплообмена коллектора. В данной работе представлен коллектор новой конструкции и разработана модель для описания механизма теплопередачи, позволяющая оценить теплопередачу коллектора на этапе проектирования.

Контактная площадь между тепловым коллектором и охлаждаемым объектом (солнечным модулем) является одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность коллектора. При проектировании коллектора, обычно надо уделять большое внимание увеличению контактной площади для улучшения эффективности коллектора. По сравнению с другими конфигурациями коллектора, плоская конфигурация обладает достоинством при охлаждении фотовольтаического модуля с плоской поверхностью, так как можно увеличить контактную площадь до максимума в данном случае.

Проектированный коллектор имеет две теплопередающие стенки, позволяющие охлаждать фотоэлектрический модуль, установленный в солнечной энергоустановке с концентратором. Внешний вид данного коллектора является плоской коробкой (Рис.1), внутри установлены ограждающие стенки.

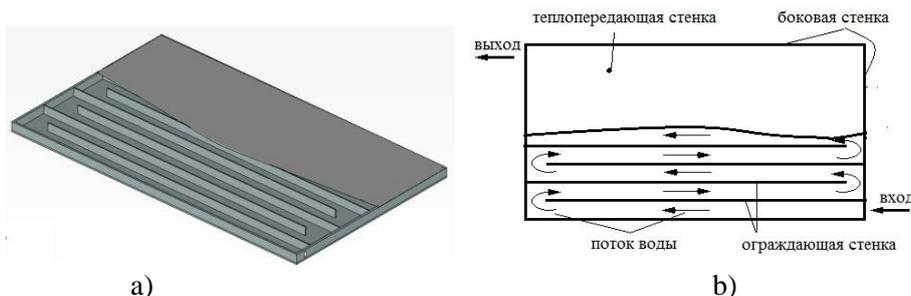


Рис.1. Конструкция плоского солнечного теплового коллектора (а), режим работы коллектора(б)

Теплопередающая стенка, боковая стенка и теплопередающая стенка изготавливаются из одного и того же материала и составляют целое изделие. Теплоноситель протекает через внутренние каналы как через змеевик, унося тепла, распространяющиеся из окружающих стенок. Схема установки плоского коллектора показана на рис.2:

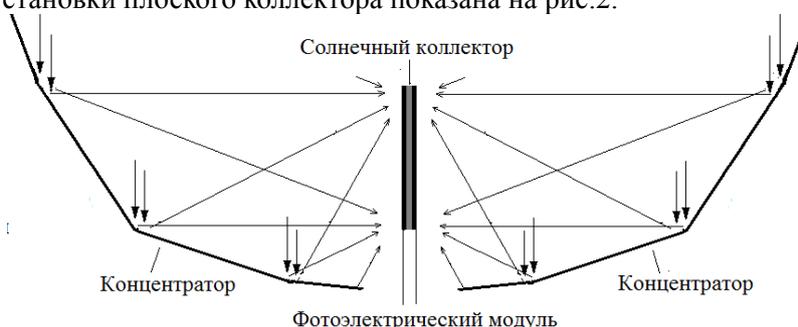


Рис.2. Упрощённая схема установки плоского коллектора в комбинированной тепло-солнечной энергоустановке с концентратором

Данный коллектор имеет две теплопередающие стенки, и применяется для получения теплоты из фотоэлектрических модулей, механизм теплопередачи показан на рис.3.

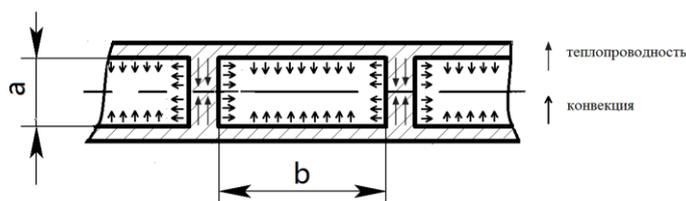


Рис.3. Механизм теплопередачи коллектора (боковой разрез)

Для нахождения коэффициента теплопередачи между стенкой и водой, надо определить режим течения потока, режим течения потока в канале определяется безразмерным числом Рейнольдса – Re [1]:

$$Re = \frac{U_{\infty} \cdot D}{\nu}$$

где U_{∞} - скорость протекающего потока; D -гидравлический диаметр; ν –коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Как показано на рис.3, для канала с прямоугольным сечением:

$$D = \frac{4 \cdot A_c}{P_n} = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a + b)}$$

где A_c –площадь поперечного сечения канала; P_n – смоченный периметр

При $Re < 2300$, поток является ламинарным; при $Re > 2300$, поток является турбулентным;

Для экономии электрической энергии, в практике обычно применяют маломощную помпу для циркуляции воды, расход небольшой, поэтому в большинстве случаев поток является ламинарным. Далее будем рассмотреть теплопередачу при ламинарном потоке.

В солнечной энергетике, принято считать температуру плоского коллектора одинаковой по направлению, параллельному теплопередающей поверхности[2], в данной работе, распределение температуры по теплопередающей стенке считается равномерным.

Для ламинарного потока, число Нуссельта- Nu описывается выражением[3]:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k_{ж}} \quad (1)$$

где h - коэффициент теплообмена между жидкостью и стенкой канала. $k_{ж}$ – коэффициент теплопроводности жидкости.

Число Нуссельта принимает разное значение при разной конфигурации канала. Как показано на рис.4.

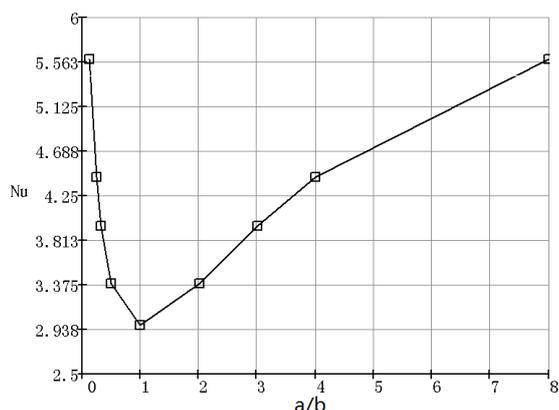


Рис.4. Число Нуссельта от a/b

Зависимость числа Нуссельта от a/b даёт возможность находить коэффициент теплообмена между теплоносителем и каналом - h по выражению (1), когда конфигурация канала определена. При проектировании конфигурации канала, рекомендуется выбрать следующие типичные значения a/b: 1, 2, 3, 4, 8, 1/2, 1/3, 1/4, 1/8. Эти конфигурации проверили на многих опытах, точность оценки высока.

Определив h , можем анализировать теплопередачу в ограждающей стенке и боковой стенке дальше. В эксплуатации, температурное поле в ограждающей стенке симметричное относительно положения $x=a/2$. Поэтому можно анализировать участок $0 < x < a/2$, как показан на рис.5

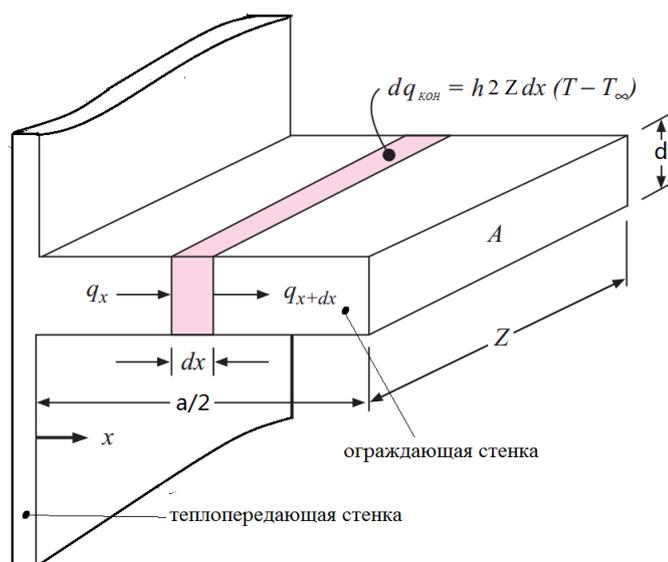


Рис.5. Механизм теплообмена в ограждающей стенке

На ограждающей стенке возьмём элементарный участок в качестве объекта исследования[3]. Как показано на рис.5,

$$q_x = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx} \cdot dx = -k \cdot A \cdot \left(\frac{dT}{dx} + \frac{d^2T}{dx^2} \cdot dx \right)$$

где q_x - поток тепла в положении x ; k - коэффициент теплопроводности материала стенки. q_{x+dx} –поток тепла в положении $x + dx$; T - температура ограждающей стенки; A – площадь поперечного сечения ограждающей стенки, $A=d \cdot Z$.

Тепловая потеря посредством конвекции на элементарном участке описывается выражением:

$$dq_{\text{кон}} = h \cdot 2 \cdot Z \cdot dx \cdot (T - T_{\infty})$$

Где h – коэффициент конвективного теплообмена. T_{∞} - температура обтекающей жидкости; Z - длина ограждающей стенки(рис.5);здесь не учитывать теплообмен на боковой грани, так как $Z \gg d$.

Применяя тепловой баланс $q_x - q_{x+dx} = dq_{\text{кон}}$, получим:

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{2 \cdot Z \cdot h}{k \cdot A} \cdot (T - T_{\infty}) = 0 \quad (2)$$

При $x=0$, есть граничное условие:

$$T(0) = T_{\pi} \quad (3)$$

где T_{π} – температура теплопередающей стенки.

Теплопередача симметричная относительно $x=a/2$, есть граничное условие:

$$\frac{dT(a/2)}{dx} = 0 \quad (4)$$

Из уравнений (2)-(4), получаем решение:

$$T(x) = \frac{\cosh \left[\sqrt{\frac{2 \cdot Z \cdot h}{k \cdot A}} \cdot \left(\frac{a}{2} - x \right) \right]}{\cosh \left(\sqrt{\frac{2 \cdot Z \cdot h}{k \cdot A}} \cdot \frac{a}{2} \right)} \cdot (T_{\pi} - T_{\infty}) + T_{\infty} \quad (5)$$

где \cosh - гиперболический косинус.

Из формулы (5), получаем тепловой поток через ограждающую стенку:

$$q_0 = -k \cdot A \cdot \frac{dT(0)}{dx} = \sqrt{2 \cdot Z \cdot k \cdot A \cdot h} \cdot (T_{\pi} - T_{\infty}) \cdot \tanh \left(\sqrt{\frac{2 \cdot Z \cdot h}{k \cdot A}} \cdot \frac{a}{2} \right) \quad (6)$$

где \tanh - гиперболический тангенс.

Аналогично, для боковой стенки, тепловой поток через боковую стенку описывается выражением:

$$q_6 = \sqrt{k \cdot A_6 \cdot h \cdot Z_{6c}} \cdot (T_{\pi} - T_{\infty}) \cdot \tanh \left(\sqrt{\frac{h \cdot Z_6}{k \cdot A_6}} \cdot \frac{a}{2} \right) \quad (7)$$

где A_6 - площадь попересного сечения боковой стенки. Z_6 - длина боковой стенки

При моделировании теплообмена между ограждающей стенкой и теплоносителем, допустили, что теплообмен происходит на обеих поверхностях ограждающей стенки. А при моделировании теплообмена между боковой стенкой и теплоносителем, допустили, что теплообмен происходит только на внутренней поверхности. так как в практике для устранения тепловой потери, внешняя поверхность боковой стенки покрывается теплоизоляционным материалом, только на внутренней поверхности происходит теплообмен.

Тепловой поток через теплопередающую стенку, не включающую площади, занимаемые боковой стенкой и ограждающей стенкой) описывается выражением:

$$q_{\pi} = (A_{\pi} - \sum A_6 - \sum A) \cdot h \cdot (T_0 - T_{\infty}) \quad (8)$$

где A_{π} площадь теплопередающей стенки. $\sum A_6$ - суммарная площадь поперечного сечения боковых стенок, $\sum A$ - суммарная площадь поперечного сечения ограждающих стенок.

По формулам (6) - (8), можно получать суммарный поток тепла через внешнюю поверхность коллектора $\sum q$:

$$\sum q = n \cdot q_0 + 2 \cdot (q_{61} + q_{62}) + q_{\text{п}} \quad (9)$$

где n – количество ограждающих стенок, q_{61} – перенос тепла через одну из боковых стенок, q_{62} – перенос тепла через соседнюю боковую стенку.

Коэффициент теплопередачи между теплопередающей стенкой и теплоносителем находится выражением:

$$K = \frac{\sum q}{A_{\text{п}} \cdot (T_{\text{п}} - T_{\infty})} \quad (10)$$

Для плоского солнечного коллектора, коэффициент K применяется для оценки эффективности и других показателей коллектора[4].

По выше указанной модели задали граничные условия, с помощью конечно-элементного анализа программы T-FLEX, выполнили визуализацию температурного поля(рис.6.a) и распределения плотности теплового потока (рис.6.b):

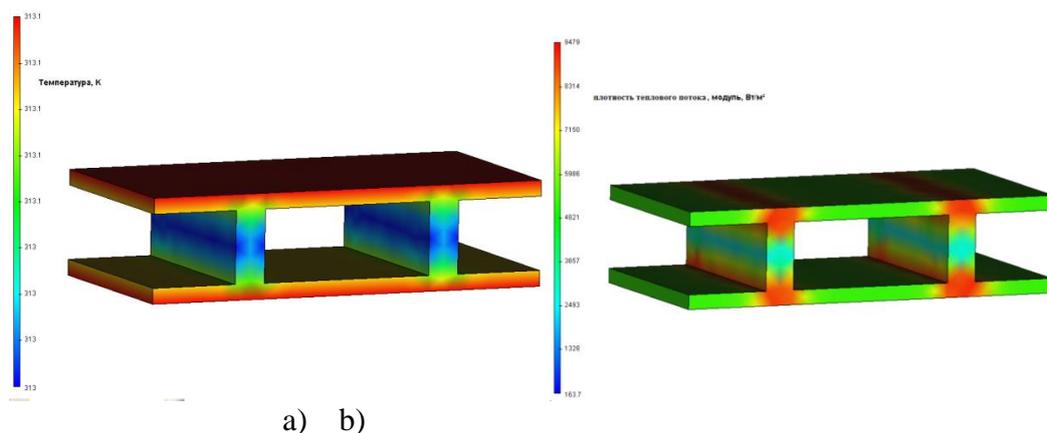


Рис.6. Температурное поле(a)и плотность теплового потока(b),
 $T_{\text{н}} = 40^{\circ}\text{C}, T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}, h = 220\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$

На рис.6.a видно, что разность температуры в разных точках довольно мала, это объясняется тем, что коэффициент теплопроводности используемого материала – алюминия довольно большой, падение температуры через алюминиевую стенку мало. На рис.6.b видно, что плотность теплового потока через ограждающую стенку большое, значит, что наличие ограждающих стенок способствует переносу тепла. В данном изображении, заданы $a=7\text{mm}$, $b=17\text{mm}$, толщина ограждающей стенки- 3mm , толщина теплопередающей стенки- $1,5\text{mm}$.Для улучшения эффективности и экономии материала, в практическом проектировании рекомендуется увеличить количество ограждающих стенок и уменьшить толщину ограждающей стенки.

Вышеуказанная модель позволяет теоретически рассчитать коэффициент теплопередачи между теплопередающей стенкой и теплоносителем- K . Этот коэффициент можно находить и экспериментальным путем, установка для нахождения коэффициента - K показана на рис.7.

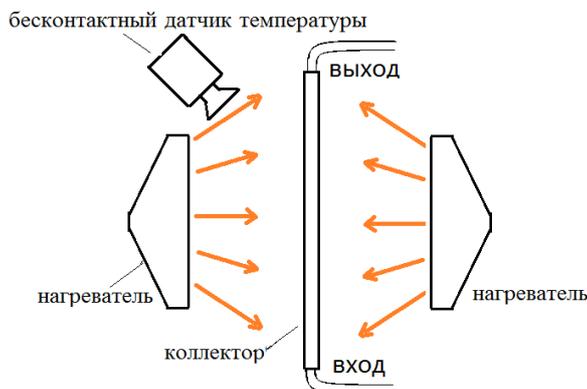


Рис.7. Экспериментальная установка

Материал коллектора- алюминий. Вводя параметры коллектора в формулы (6) - (10), получаем теоретическое значение коэффициента: $K=265 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

В практике принято использовать среднее значение температуры для нахождения коэффициента теплопередачи[5]. Применяя тепловой баланс, можем экспериментально находить коэффициент теплопередачи между теплопередающей стенкой и теплоносителем по формуле:

$$K = \frac{f \cdot \rho \cdot C \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}})}{2 \cdot A_{\text{п}} \cdot (T_{\text{п}} - \frac{T_{\text{вх}} + T_{\text{вых}}}{2})}$$

где f -расход воды; ρ - плотность воды; C - удельная теплоёмкость воды. $T_{\text{вх}}$ - температура входной воды; $T_{\text{вых}}$ - температура выходной воды.

Тестировали коллектор при разных расходах теплоносителя, применяя вышеуказанную установку. Рассчитали коэффициент теплопередачи между водой и теплопередающей стенкой по экспериментальным результатам. Кроме того, тестировали коллектор при холодной входной воде (15-20°C) и горячей входной воде(45-50°C).

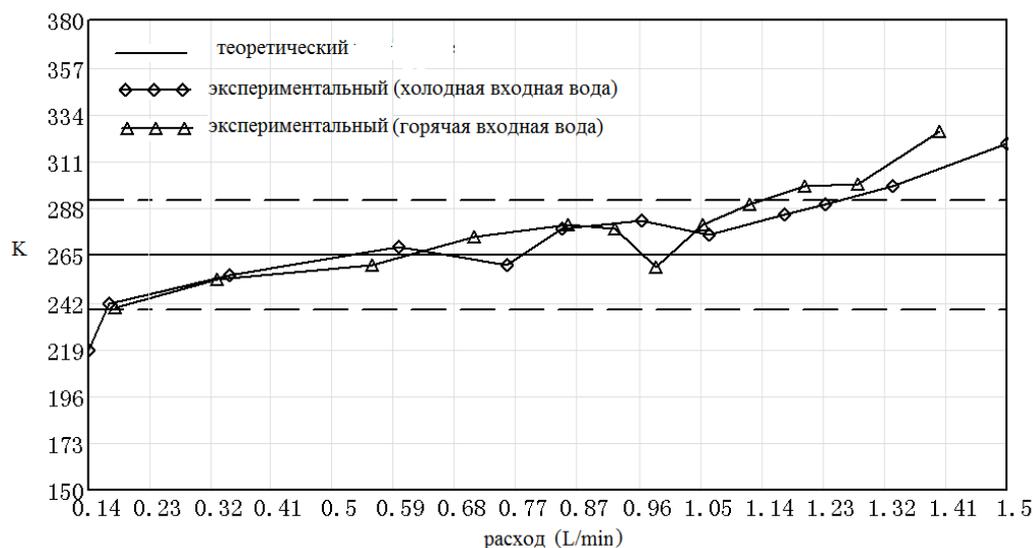


Рис.8. Коэффициент теплопередачи между теплоносителем (водой) и теплопередающей стенкой от расхода

На рис.8 видно, что экспериментальный результат не абсолютно совпадает с теоретическим, часто больше чем теоретический. Главная причина заключается в том, что криволинейный переход между соседними каналами увеличивает турбулентность потока, увеличение турбулентности может способствовать переносу тепла, в результате чего, криволинейный переход увеличивает коэффициент теплопередачи между теплоносителем и стенками канала. Этим фактором в практическом проектировании можно пренебречь, так как реальный коллектор намного больше чем тестируемый коллектор, по сравнению с длиной канала переход между соседними каналами пренебрежимо мал. По числу критерия Рейнольдса, знаем что для тестируемого коллектора, когда расход стремится к 1.5 L/min, течение потока начинает переходить в турбулентный режим, и механизм теплопередачи будет иметь другой вид, поэтому когда расход стремится к крайнему значению ламинарного потока, коэффициент теплопередачи отклоняется от теоретического. Температура входного теплоносителя тоже оказывает влияние на коэффициент теплопередачи, так как свойства (вязкость, теплопроводность, плотность) теплоносителя могут изменяться при значительном повышении температуры, в том числе, вязкость более сильно зависит от температуры. Чем выше температура, тем меньше вязкость и тем больше коэффициент теплообмена.

С помощью настоящей модели можно описывать механизм теплообмена с удовлетворительной точностью при определенном условии. Данный тепловой коллектор является эффективным средством для поглощения тепла при проектировании гибридной солнечной батареи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Incropera, F. P. "Fundamentals of heat and mass transfer." (2007).p-487
2. Tiwari, Arvind, and M. S. Sodha. "Performance evaluation of solar PV/T system: an experimental validation." SolarEnergy 80.7 (2006): 751-759.
3. J.P, Holman. Heat Transfer, Tenth Edition. McGraw-Hill Companies, Inc, 2010. P.284-285,P.45.
4. Ji, Jie, et al. "Effect of fluid flow and packing factor on energy performance of a wall-mounted hybrid photovoltaic/water-heating collector system." EnergyandBuildings 38.12 (2006): 1380-1387.
5. Y. A. Cengel, Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd ed., McGraw-Hill, 2003,P. 428

Сведение о авторах:

Пань Яньян: г. Томск, магистрант 2-го курса ИНК ТПУ; сфера научных интересов: солнечная энергетика.

УДК 620.179.14

**ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ
НАКЛАДНЫМ ВТП
(USING OVERHEAD EDDY CURRENT TRANSDUCER TO MEASURE THE THICKNESS
OF ELECTRIC CABLE'S INSULATOR)**

Ван Юй
Научный руководитель: А.Е. Гольдштейн
Wang Yu
Scientific supervisor: A.E. Goldstein

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: wangyu1211@mail.ru

В статье рассмотрены физические основы вихретокового метода и принцип вихретокового толщиномера. В качестве наиболее эффективного для решения задачи измерения толщины изоляционной оболочки кабеля в заданных условиях контроля выбран накладный вихретоковый преобразователь. Экспериментально определены зависимости выходного сигнала от изменения зазора между корпусом преобразователя и поверхностью жилы кабеля, формы поперечного сечения. Проанализированы причины влияния формы поперечного сечения на результаты измерения.

(This paper mainly introduces the theoretical basis of eddy current sensor measurement and the principle of eddy current thickness gauge. As the most efficient method for solving the problem of measuring the thickness of electric cable's insulator under the specified conditions is using overhead eddy current transducer. Experimentally determined relationship between the load voltage and change of the gap between the body of the transducer and the surface shape of cable. At last analyze the reasons for the effect of the surface shape.)

Ключевые слова:

Накладный вихретоковый преобразователь, измерение толщины изоляционной оболочки, система вихретокового контроля, вихретоковый толщиномер, секторная жила кабеля.

(Overhead eddy current transducer, the measurement of the thickness of electric cable's insulator, eddy current measurement system, eddy-current thickness gauge, the cable sector.)

Введение

Кабели и провода это важнейшие изделия. Кабельную промышленность отличают высокая технологичность, энергоёмкость, ресурсоёмкость и высокая степень автоматизации производства. Технический уровень кабельных изделий отражает уровень экономического и технического развития промышленности страны в целом.

Качество кабельных изделий характеризуется различными геометрическими и электрическими параметрами, как правило, связанными друг с другом. Толщина изоляционной оболочки является важным параметром. По отношению к высоковольтным кабелям, она непосредственно касается электробезопасности, с другой стороны, с точки зрения экономии расхода дорогостоящего сырья и материалов, измерение толщины изоляционной оболочки кабеля является актуальной задачей.

Силовые кабели изготавливаются с одной, двумя, тремя и четырьмя токоведущими жилами. В качестве материала жил используется медь и алюминий. В зависимости от требуемой гибкости кабеля жилы могут быть однопроволочные и многопроволочные, обладающие большой гибкостью. Для кабелей стационарной прокладки изготавливают жилы круглой и фасонной (сегментной и секторной) формы. Применение секторных и сегментных жил вместо круглых позволяет уменьшить диаметр кабеля на 20 - 25 %, соответственно сократить расход материалов на оболочку, защитные покрытия и изоляцию, что существенно снижает стоимость кабеля.[1]

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98 «Измерение толщин и наружных размеров - Измерение толщины и наружных размеров изоляции и оболочек кабелей», для жил секторной формы проводят шесть измерений, как показано на рис. 1 (м.т. — минимальная толщина).[2]

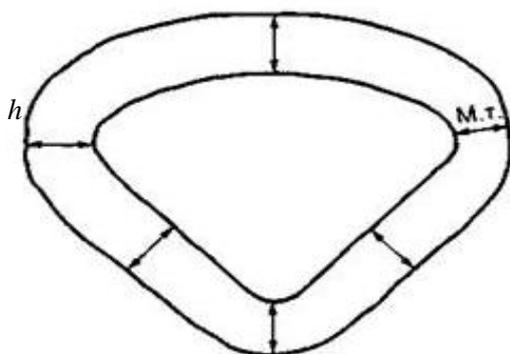


Рис. 1. Шесть точек измерения толщины изоляции для секторной жилы

Для измерения толщины изоляционной оболочки кабеля, применяются различные методы и средства, в том числе, механический, ультразвуковой, ёмкостный, радиационный, вихретоковый. Измерение геометрических параметров кабеля должно происходить в режиме реального времени непосредственно в технологическом процессе. По сравнению с другими методами, вихретоковый метод обладает высокой скоростью контроля, малым влиянием внешних факторов, возможностью автоматизации процесса контроля.

Физические основы вихретокового метода измерительных преобразований

Измерительные преобразования в полях вихревых токов основаны на возбуждении в электропроводящих объектах переменным магнитным полем вихревых токов и зависимости параметров этих токов от свойств объекта.[3]

На рис. 2 приведен принцип возбуждения вихревого тока в электропроводящих объектах.

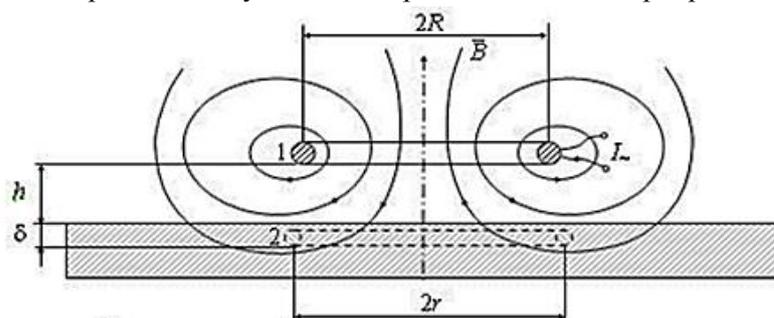


Рис. 2. Принцип возбуждения вихревого тока:
1 – обмотка с переменным током; 2 – контур вихревого тока

Контроль толщины изоляции при одностороннем доступе проводят накладным вихретоковым преобразователем ВТП, состоящим из возбуждающей ОБ и измерительной ОИ обмоток (рис 3). Синусоидальный ток, протекающий по обмотке возбуждения, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте контроля (ОК). Магнитное поле вихревых токов воздействует на обмотки ВТП, наводя в них ЭДС.

Напряжение измерительной обмотки ОИ состоит из двух частей

$$\dot{U} = \dot{U}_0 + \dot{U}_{вн}$$

Начальное напряжение \dot{U}_0 наводится в измерительной обмотке в отсутствии объекта контроля за счет индуктивной связи между возбуждающей и измерительной обмотками ВТП. Вносимое напряжение $\dot{U}_{вн}$ наводится вихревыми токами, протекающими в объекте контроля. Оба напряжения являются комплексными. Начальное напряжение \dot{U}_0 зависит от частоты тока возбуждения и размеров ВТП, а вносимое напряжение $\dot{U}_{вн}$ определяется также параметрами объекта контроля и взаимным расположением ВТП и ОК.

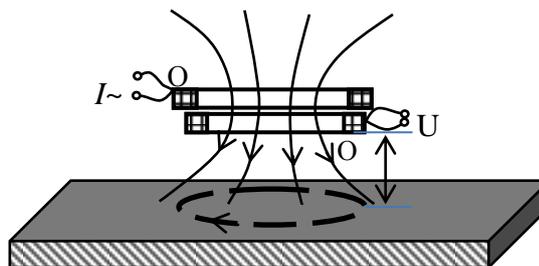


Рис. 3. Принцип измерения толщины накладным вихретоковым преобразователем

Экспериментальная часть

Целью эксперимента являлось экспериментальное исследование зависимости выходного напряжения вихретокового преобразователя от изменения расстояния между корпусом преобразователя и поверхностью жилы кабеля, формы поперечного сечения.

Если форма секторной жилы симметричная, то можно проводить эксперименты для четырёх точек. На рис. 4 приведена схема измерения толщины изоляции кабеля накладным вихретоковым преобразователем.

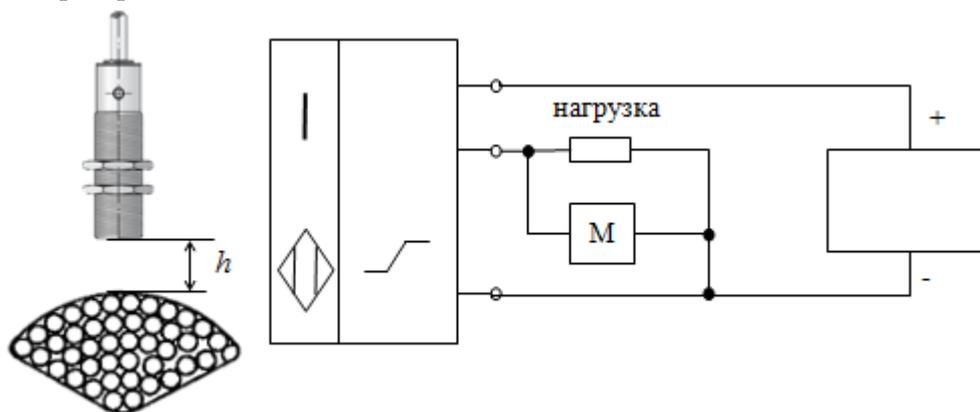


Рис. 4. Экспериментальная схема измерения толщины изоляции кабеля накладным вихретоковым преобразователем

Использовался источник питания постоянного тока Б5-49 как источник энергии. Объектом контроля являлась секторная жила кабеля. С помощью мультиметра (М) измерялось выходное напряжение при постепенном увеличении зазора диэлектрическими прокладками, толщина которых равна 0,184 мм. В качестве преобразователя использован ДПА-М18-76У-1110-Н. Далее строился график зависимости выходного напряжения преобразователя от изменения зазора между корпусом ВТП и поверхностью жилы кабеля.

Технические характеристики ДПА-М18-76У-1110-Н[4] приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики ДПА-М18-76У-1110-Н

Диапазон рабочих напряжений	(10–30) В DC
Рабочая зона чувствит. элемента	(0,75–5) мм
Линейная зона чувствит. элемента	(1,24–4) мм
Нелинейность в линейной зоне	5%
Диаметр	М18×1

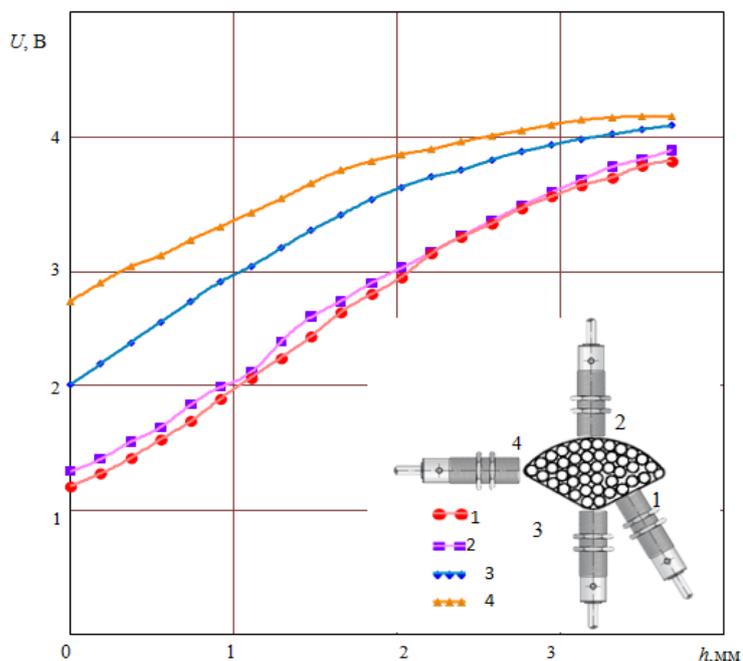


Рис. 5. Зависимости выходного напряжения от изменения зазора между корпусом ВТП и поверхностью жилы кабеля

На рис. 5 показаны зависимости выходного напряжения от зазора между корпусом преобразователя и поверхностями жилы кабеля в разных точках поверхности. При увеличении зазора выходное напряжение возрастает и характеризуется нелинейной зависимостью. Следует отметить, что для рассматриваемых четырёх точек характер изменения похож, но зависимости отличаются друг от друга по причине разной формы поверхности.

Исследуем причины влияния формы поверхности. Очевидно, что при криволинейной форме поверхности среднее расстояние до поверхности h_0 больше расстояния до ближайшей точки поверхности h (рис. 6). Поэтому сигнал ВТП для этого случая оказывается меньше сигнала для случая плоской поверхности. Чем больше кривизна поверхности, тем сильнее выражен этот эффект.

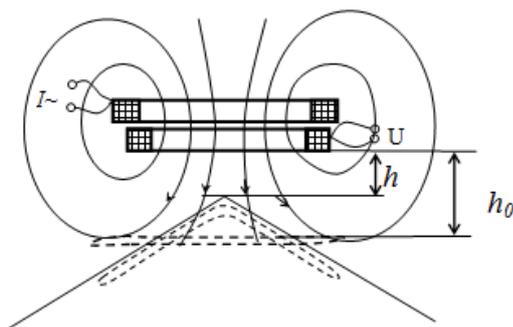


Рис. 6. Возбуждение вихревого тока на объекте, имеющий секторное поперечное сечение

Далее были испытаны преобразователи расстояния BAW M18MG-UAC80F-S04G [5] и BAW M12MF2-UAC40F-BP03 [6]. Основные характеристики этих преобразователей приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные характеристики преобразователей BAW

Тип преобразователей	BAW M18MG-UAC80F-S04G	BAW M12MF2-UAC40F-BP03
Входное напряжение (В)	15—30 DC	15—30 DC

Выходное напряжение (В)	0—10	0—10
Линейная чувствительная зона (мм)	2—8	1—4
Коэффициент температуры(мкм/К)	-2—4	2—13
Нелинейность(мкм)	±180	±90
Диаметр(мм)	M18×1	M12×1

По результатам эксперимента были построены зависимости выходного напряжения преобразователя от изменения зазора между корпусом ВТП для четырех точек поверхности жилы кабеля. Зависимости показаны на рис. 7 для преобразователя BAW M18MG-UAC80F-S04G и на рис. 8 показаны зависимости для преобразователя BAW M12MF2-UAC40F-BP03.

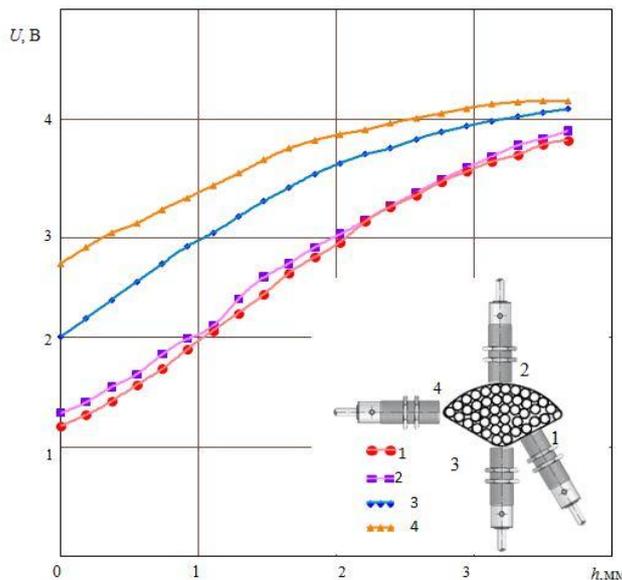


Рис. 7. Зависимости выходного напряжения от изменения зазора между корпусом ВТП BAW M18MG-UAC80F-S04G для четырех точек поверхности жилы кабеля

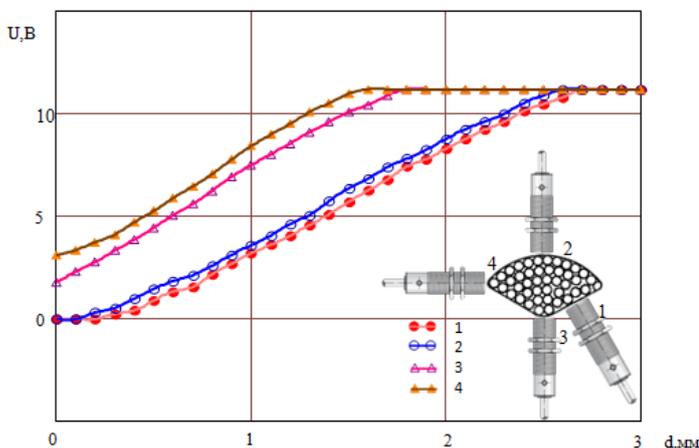


Рис. 8. Зависимости выходного напряжения от изменения зазора между корпусом ВТП BAW M12MF2-UAC40F-BP03 для четырех точек поверхности жилы кабеля

При увеличении зазора выходное напряжение возрастает. Следует отметить, что в отличие от преобразователя ДПА-М18-76У-1110-Н, эти преобразователи обладают лучшей линейностью в рабочей зоне. Но у них разные диапазоны линейной зона. В нашей задаче нужно контролировать секторный кабель, номинальное значение толщины изоляционной оболочки которого равно 2мм, таким образом, преобразователь BAW M12MF2-UAC40F-BP03 не применим, особенно для точек 3 и 4, линейная зона для которых (0 – 1,5) мм. Для решения нашей задачи подходит преобразователь BAW M18MG-UAC80F-S04G.

Исследование влияния смещения преобразователя относительно объекта контроля.

В процессе контроля могут иметь место параллельное смещение d (рис. 9а) и угол наклона θ (рис. 9б). Поэтому следует исследовать влияние угла θ и перемещения d на выходное напряжение.

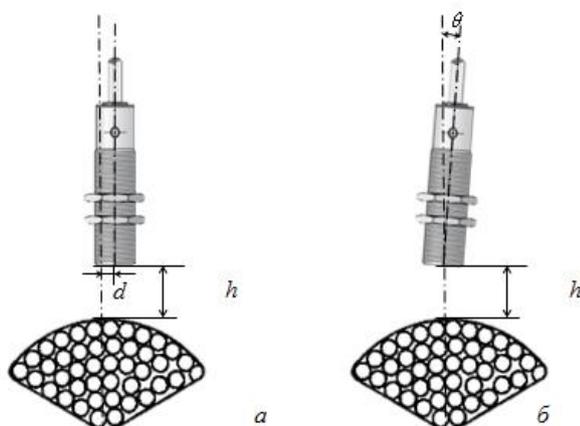


Рис.9. Отклонение преобразователя от оси симметрии: а—перемещение d , б—угол θ

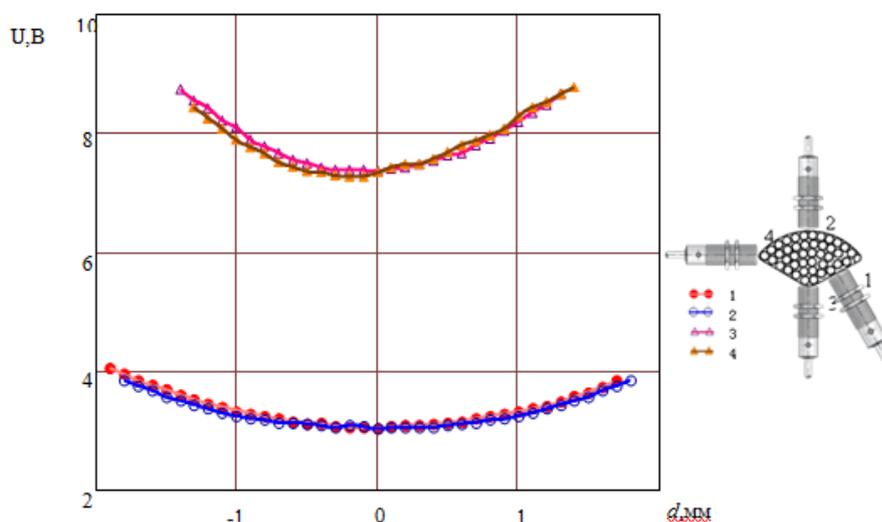


Рис.10. Зависимость выходного напряжения от изменения перемещения d , для преобразователя BAW M18MG-UAC80F-S04G

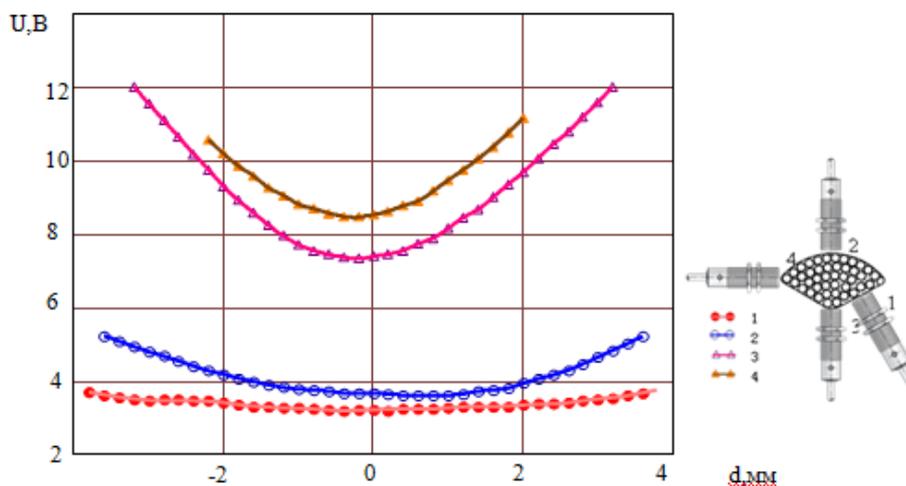


Рис.11. Зависимость выходного напряжения от изменения перемещения d , для преобразователя BAW M12MF2-UAC40F-BP03

На рис. 10 и 11 показаны зависимости выходного напряжения от изменения перемещения d , зависимости показаны на рис. 10 для преобразователя BAW M18MG-UAC80F-S04G, на рис. 11 для преобразователя BAW M12MF2-UAC40F-BP03. Можно сделать вывод о том, что перемещение возникает погрешность измерения. Для 1 и 2 точек влияние параллельного смещения незначительно в достаточно широком диапазоне. Если перемещение в пределах 1мм, погрешность можно без учёта.

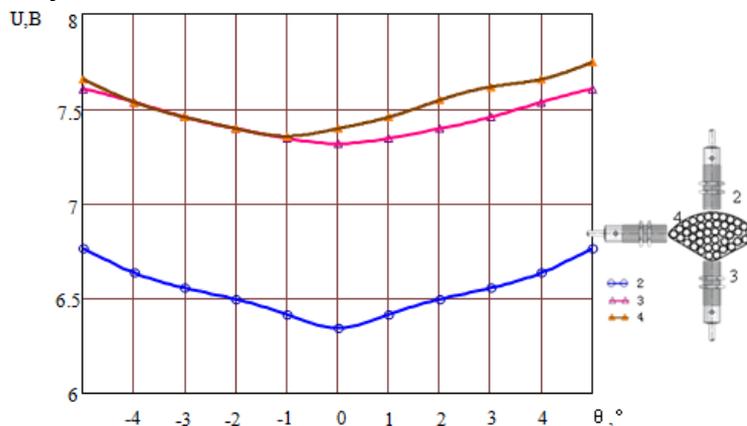


Рис.12.

На рис. 12 и 13 показаны зависимости выходного напряжения от изменения угла θ . Можно сказать, что угол перемещения является источником погрешности измерения, и чем угол больше, тем погрешность больше. Чтобы обеспечить точность измерения, допустимое перемещение меньше 1° .

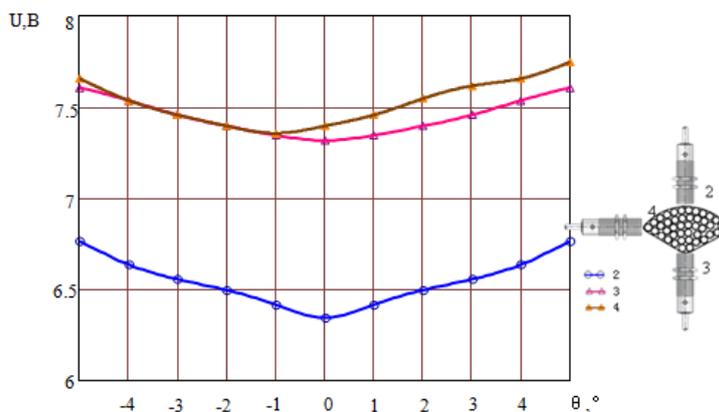


Рис.13.

Симметричность зависимостей относится от положения преобразователя от поверхности жилы кабеля. Для точки 4 невозможно была симметричная зависимость, причина в том, что ее форма не симметричная.

Таким образом, чтобы исключить эти погрешности, необходимо фиксировать положение преобразователя от жилы кабеля.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98, для жил секторной формы проводят шесть измерений.

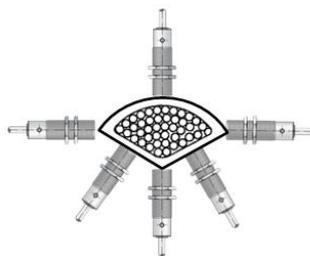


Рис. 14. Система для измерения толщины изоляционной оболочки секторного кабеля

Данная измерительная система содержит 6 датчиков, которые работают одновременно, как показана на рис. 14. Поэтому было исследовано их взаимное влияние. При приближении преобразователя 2 к преобразователю 1 (рис.15), значение выходного напряжения преобразователя 1 не изменяется. Таким образом, 6 преобразователей могут одновременно работать без взаимодействия.

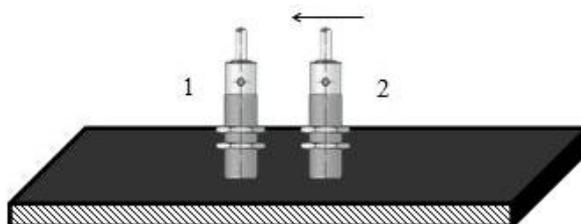


Рис. 15. Исследование взаимодействия двух преобразователей

Заключение

Изучены физические основы вихретокового метода и принцип вихретокового толщиномера. Доказана возможность использования вихретокового метода для измерения толщины оболочки секторной жилы, получены зависимости выходного напряжения вихретокового преобразователя от изменения расстояния между корпусом преобразователя и поверхностью жилы кабеля. Проанализированы влияния основных влияющих факторов на результаты измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические сети [Электронный ресурс] / Назначение кабелей – Режим доступа: <http://leg.co.ua/info/kabeli/naznachenie-kabeley.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 5.05.2015).
2. ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98 «Измерение толщин и наружных размеров - Измерение толщины и наружных размеров изоляции и оболочек кабелей».
3. Гольдштейн А.Е. Физические основы получения информации: учеб. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
4. Сенсор [электронный ресурс] / Датчик положения аналоговый индуктивный ДПА-М18-76У-1110-Н – Режим доступа: <http://www.sensor-com.ru/sensors/dpa-m18-76u-1110-n>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 20.10.2014).
5. Balluff [Электронный ресурс] / Inductive Distance Sensor BAW M18MG-UAC80F-S04G – Режим доступа: http://www.murri.fi/documents/balluff/BAW/BAWM18MG_UAC80F_S04G_en.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.02.2015).
6. Balluff [Электронный ресурс] / Inductive Distance Sensor BAW M12MF2-UAC40F-BP03 – Режим доступа: http://www.sensotronik.se/pdf/01ind/BUF/BAWM12MF2_UAC40F_BP03_en.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.02.2015).

Сведения об авторе:

Ван Юй: г. Томск, студент гр.1БМ43 первого курса магистратуры кафедры Информационно-измерительная техника Национального исследовательского Томского политехнического университета. Сфера интересов: электромагнитный контроль, метод и средство неразрушающего контроля.

УДК 621.391.244

**ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ СРЕДЫ
ОБИТАНИЯ ЦОКОРА
(PROCESSING AND INTERPRETATION OF GEOLOCATION DATA OF ZOKOR
ENVIRONMENT)**

В.В. Генералов, А.С. Запасной, А.В. Клоков
V.V. Generalov, A.S. Zapasnoy, A.V. Klokov

Национальный исследовательский Томский Государственный университет
пр. Ленина, 36, Томск, 634050, тел.: (3822) 413675,
E-mail: valeragicha@mail.ru

В данной работе приводятся результаты георадарных исследований среды обитания цокора. Описывается пошаговое проведение эксперимента и обработка данных с помощью метода дифракционного суммирования. Приводятся результаты обработки.

(The paper presents the results of investigations of georadar environment zokor. Described step by step the experiment and data processing using the diffraction summation method. The results of the data processing are shown.)

Ключевые слова:

Цокор, георадар, геолокация, радарограмма, фокусировка.
(Zokor, georadar, geolocation, radarogram, focusing.)

Цокор – род грызунов семейства слепышовых, живут под землёй, роют тоннели с помощью массивных когтей передних лап. Цокоры — средние по своим размерам грызуны: длина тела у них составляет 16—27 см, длина хвоста доходит до 7 см. Туловище имеет вальковатую форму, шейный перехват отсутствует. Ушных раковин у них нет, глаза цокоров очень маленькие, а на конце морды выделяется оголённый ороговевший кусочек кожи. Конечности короткие, причём передние конечности несут длинные острые когти, подошвы и ладони — голые. Шерсть густая и короткая, очень мягкая; окрас её однотонный — от палево-охристого до серовато-коричневого цвета. При этом передняя часть головы — белёсая. Цокоры могут вредить огородному и луговому хозяйству своей роющей деятельностью. Являются второстепенным объектом пушного промысла. Почти всё своё время проводят под землёй, где роют сложные многоярусные норы длиной 50 — 100 метров [1]. Так или иначе, они являются активным объектом биоты почвогрунтов - одной из составляющей биологического разнообразия животных земли. Понимание биоты цокора - единственного землероя Томской области – чрезвычайно важно для понимания его роли в иерархии развития животного мира Земли вообще.

Активное наблюдение за цокорами – это отлов или вскрытие нор. При отлове цокоры травмируются. При раскопке нор будет нарушено сложившееся равновесие в природе. Более перспективным представляется другой способ, когда под землю можно заглянуть с помощью приборов, не причиняя вред окружающей среде.

Действуя в этом направлении ученые Томского университета в июне 2014 года проводили георадарные исследования в Кожевниковском районе, близ деревни Новопокровка на полях сельскохозяйственного назначения. На поле было обследовано два участка с явно выраженными следами жизнедеятельности цокора – присутствовали явные следы выходы цокора на поверхность. Размеры участков составили: 4 x 4 и 7,5 x 4 метра. Для зондирования почвы и обеспечения надлежащего разрешения была выбрана радарная подсистема ОКО-2 с биполярными зондирующими радио импульсами, имеющими среднюю частоту в спектре излучения 1700 МГц. Расчетная глубина зондирования при этом имеет порядок одного метра, а разрешающая способность по глубине - около трех сантиметров [2]. Данное разрешение должно позволить увидеть ходы цокора, а может быть, и самих животных. На рис. 1 показаны рабочие моменты по организации и проведению георадарных измерений.

Для получения подповерхностного изображения необходима точная привязка координат местоположения георадара на поверхности. Относительное положение вдоль прямой зондирования осуществляется штатными средствами локатора – имеется контрольное колесо, совмещенное с датчиком перемещения, позволяющее обороты переводить в пройденный путь. Перемещение в поперечном направлении приходится контролировать самостоятельно, поэтому перед зондированием каждая площадка размечалась.



Рис. 1. Георадарные измерения среды обитания цокора

Исходя из диаграммы направленности антенны и длительности импульса георадара, был выбран шаг сканирования в продольном и поперечном направлениях. Так зондирование проходило с шагом 0,022 м вдоль направления перемещения геолокатора и 0,2 м – в поперечном направлении. Разметка проводилась капроновой нитью: вначале строился прямоугольник заданных размеров, затем с выбранным шагом натягивалась нить на реперные точки в продольном направлении (рис. 2 а). При таком подходе существуют ещё несколько неопределенностей, одна из них связана с поиском нулевого отсчёта по глубине, т.к. геолокатор не плотно прижимался к земле, а вторая – необходимость выравнивания данных вдоль направления движения радара на поперечных трассах. В этом случае для минимизации ошибок определения координат была использована растянутая металлическая рулетка вначале трассы перпендикулярно движению локатора (рис.2 б). Т.к. она прилегала к земле, то в дальнейшем, при обработке служила нулевым уровнем и по вертикали относительно земли, а также началом отсчета геолокационных трасс в продольном направлении. Всего, на каждой площадке, было проведено по 21-ой параллельной трассе в продольном направлении. На каждой трассе замеры рассеянного поля производились в 350-ти точках. Для повышения отношения сигнал/шум измерения в каждой точке зондирования проходили 9 раз, что соответствует увеличению отношения сигнал-шум в 3 раза. На рис.2 приведены первичные данные геолокатора ОКО-2.

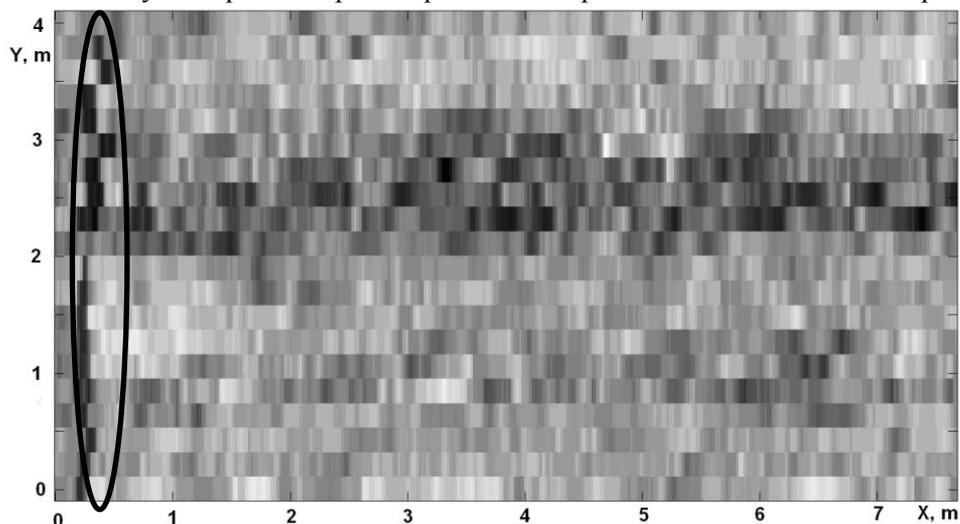


Рис. 2. Исходный геолокационный профиль исследуемой площадки (положение рулетки помечено овалом)

Видно, что на нулевой глубине след от рулетки (помечен овалом) имеет разрывы в направлении движения радара. Этот сдвиг связан с разной начальной позицией геолокатора на поперечных трассах.

Дальнейшая адекватная интерпретация данных возможна только после проведения процедуры выравнивания трасс относительно рулетки. Для этого выделялась область вокруг рулетки, затем находили коэффициенты корреляции трасс относительно друг друга, которые переводились в отсчеты для сдвига трасс. Результат такой обработке представлен на рис. 3. На этом рисунке след от рулетки действительно располагается перпендикулярно трассам и не имеет существенных разрывов.

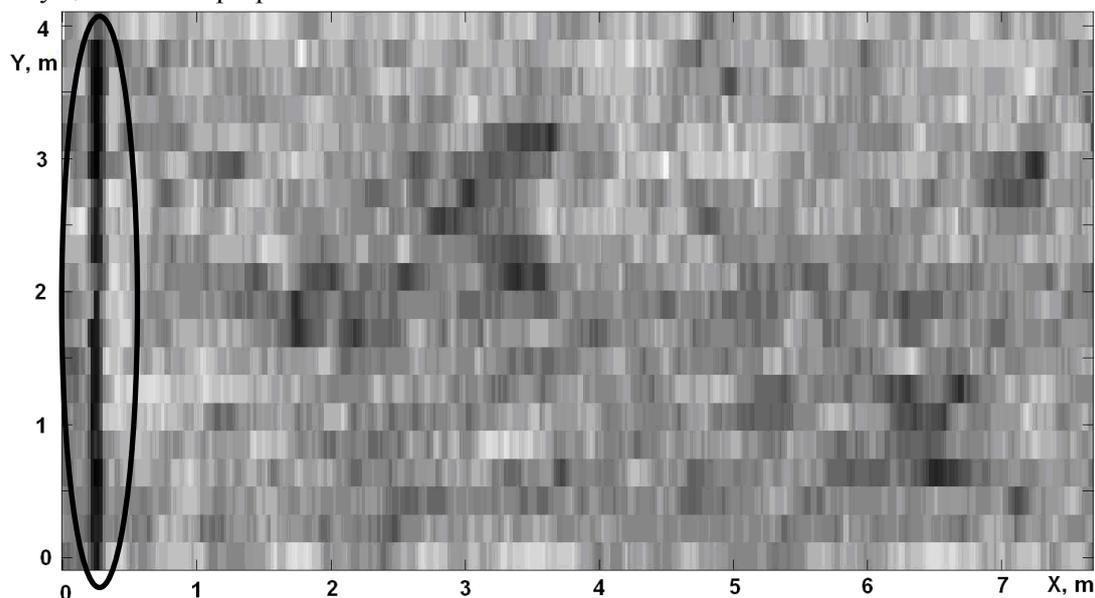


Рис. 3. Геолокационный профиль исследуемой площадки после выравнивания данных (положение рулетки помечено овалом)

Дальнейшая обработка состоит в фокусировке изображения, полученного с помощью метода синтезирования большой апертуры. Но перед ее применением следует учесть экспоненциальное ослабление излучения с глубиной при проникновении в почву. Зондируемый почвогрунт содержит определенное количество влаги, которая вызывает это ослабление радиосигналов с глубиной проникновения излучения в среду. Это можно сделать лишь в среднем для фоновой среды. Последовательность операций следующая: при каждом положении геолокатора временные записи рассеянных сигналов преобразуются в амплитуды аналитического сигнала, а затем усредняются по всем положениям (рис. 4).

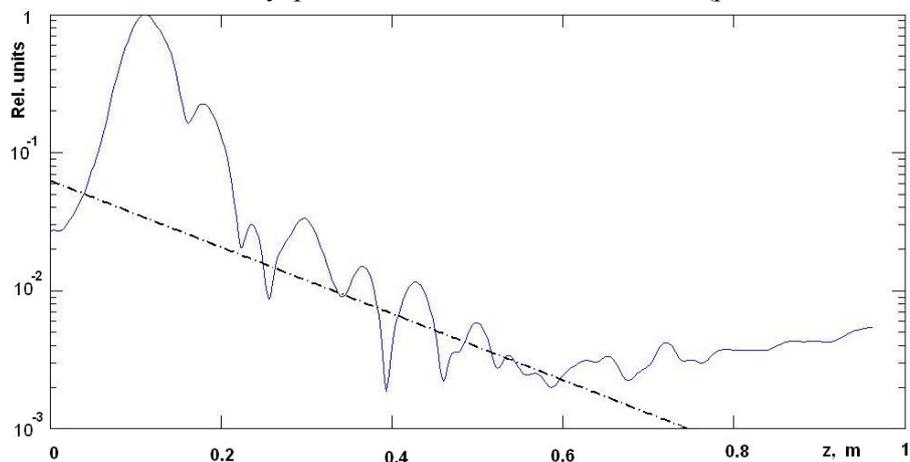


Рис. 4. Экспоненциальное ослабление излучения

В предположении экспоненциального затухания сигналов усредненная зависимость должна аппроксимироваться наклонной прямой с использованием полулогарифмического масштаба. Соответствующая наклонная прямая на рис. 5 построена с использованием метода наименьших квадратов [3]. Видно, что начиная приблизительно с глубины 0,7 м экспоненциальный ход нарушается и сигнал как бы начинает возрастать. Однако этот рост связан с накоплением интенсивности шумов измерений. Отсюда следует, что данным с глубины более 0,7 м не стоит доверять. Таким образом, коррекция этого ослабления путем перенормировки всех измеренных сигналов на усредненное экспоненциальное убывание позволяет выровнять между собой вклад всех слоев в диапазоне глубин от 0 до 0,7 м.

Последний шаг в обработке данных геолокации состоит в послышной фокусировке изображений, полученных с использованием метода дифракционного суммирования, основанного на суммировании амплитуд вдоль гиперболы и заключающегося в последовательном сканировании точек рассеяния в среде. Для каждой точки рассчитывается форма дифракционной гиперболы, которая рассчитывается как время задержки рассеянного импульса в зависимости от положения зондирующей системы. Результаты георадарных измерений показаны на рис. 5 и рис. 6 для участков 7,5 x 4 и 4 x 4 метра, соответственно. Горизонтальный ход, по которому перемещается цокор, под землёй наглядно представлен последовательностью прямоугольников. Местоположение нор, наблюдаемых на поверхности, отмечено кружочками.

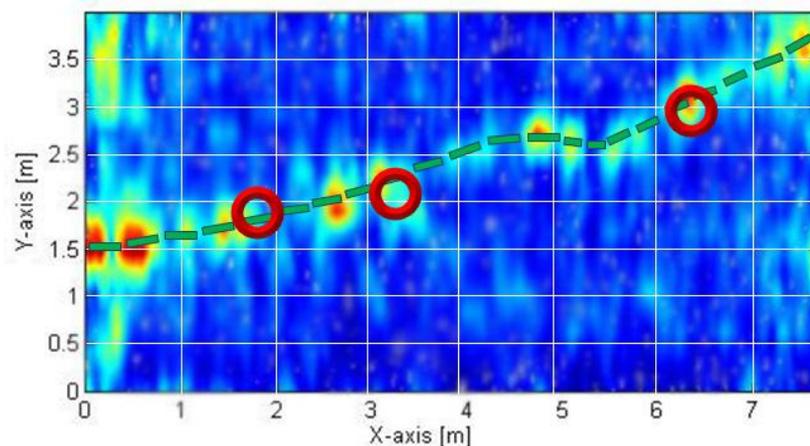


Рис. 5. Георадарный разрез горизонтального хода цокора на глубине 0,3 м

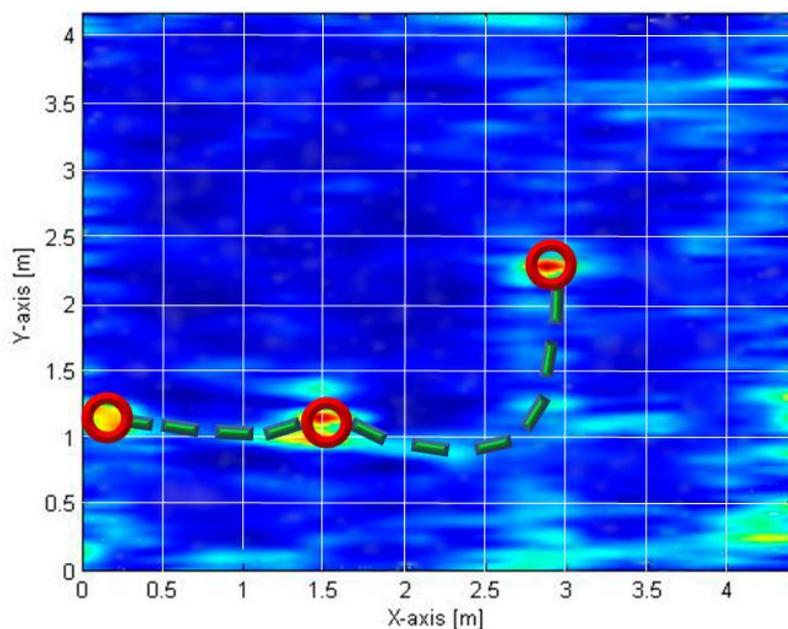


Рис. 6. Георадарный разрез горизонтального хода цокора на глубине 0,3 м

Использование георадара для исследования среды обитания животных, живущих под землей, является важным и перспективным направлением, так как удается избежать вреда причиняемого при отлове самих животных, за счет перекапывания большой площади земли, что ведет к нарушению их естественной среды обитания.

Была исследована среда обитания животных, живущих под землей. Доказано, что использование георадара в этих целях является более безопасным.

Работа выполнена по программе повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского государственного университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Википедия [Электронный ресурс]/ Цокоры – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D1%8B>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
2. Инструкция по эксплуатации радиотехнического прибора подповерхностного зондирования (георадар) «ОКО-2». – М.: ООО «Логические системы», 2011. – 98 с.
3. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. Томск: НТЛ, 2014. – 264 с.

Сведения об авторах:

Генералов В. В.: г. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, студент специалист, геолокация.

Запасной А. С.: г. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, доцент, радиолокация, геолокация.

Клоков А. В.: г. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, доцент, свершикополосная радиотомография, радиолокация, геолокация.

УДК 620.179.132

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТОВ В АКТИВНОМ ТЕПЛОВОМ КОНТРОЛЕ (APPLICATION OF WAVELETS IN THE ACTIVE THERMAL INSPECTION)

В.В. Ширяев, Го Вэньцзя, Люй Цзинь
V. V. Shiryayev, Guo Wenjia, Lv Jinye

Томский политехнический университет
E-mail: shiryayev@tpu.ru

В данной работе показано, что возможно применение вейвлет-анализа для обработки последовательностей термограмм с целью повышения достоверности результатов контроля методами активного теплового неразрушающего контроля. Для вейвлет-анализа были использованы Гауссовы вейвлеты, например, вейвлет «мексиканская шляпа». Полученные после вейвлет-преобразования изображения являются очищенными от пространственных артефактов и пригодны для создания бинарных изображений дефектов, то есть, дефектных карт.

(This paper shows the possibility of using wavelet analysis of the thermal image sequences for processing, in order to improve the reliability of the results of active thermal control method for non-destructive testing. For a Gaussian wavelet, such as wavelet "Mexican hat", the obtained images avoid space structure and are suitable for creating binary image defects or defective images.)

Ключевые слова:

Активный тепловой контроль, вейвлет, стеклопластик, дефект, бинарное изображение.
(Active thermal testing, wavelet, fiberglass, defect, binary image.)

Введение

В последнее десятилетие в мире возникло и оформилось новое научное направление, связанное с так называемым вейвлет - Слово "wavelet", являющееся переводом французского "ondelette", означает небольшие волны, следующие друг за другом. Можно без преувеличения сказать, что вейвлеты произвели революцию в области теории и практики обработки нестационарных сигналов. В настоящее время вейвлеты широко применяются для распознавания образов; при обработке и синтезе различных сигналов, например речевых, медицинских; для изучения свойств турбулентных полей и во многих других случаях.

Вейвлеты непосредственно связаны с кратномасштабным анализом сигналов. Вейвлеты могут быть ортогональными, полуортогональными, биортогональными. Эти функции могут быть симметричными, асимметричными и несимметричными. Различают вейвлеты с компактной областью определения и не имеющие таковой. Некоторые функции имеют аналитическое выражение, другие – быстрый алгоритм вычисления связанного с ними вейвлет. Вейвлеты различаются также степенью гладкости. Для практики желательно было бы иметь ортогональные симметричные (асимметричные) вейвлеты. К сожалению, доказана теорема о том, что такими вейвлетами являются лишь вейвлеты Хаара. Функции Хаара не обладают достаточной гладкостью и не подходят для большинства приложений, поэтому для кодирования изображений обычно используют биортогональные вейвлеты.

Описание образца

Для экспериментальных исследований был изготовлен образец из стеклопластиковых пластин размером 200х300 мм. Образец представляет собой склеенные 5 слоев стеклопластика с вырезанными в некоторых слоях дефектами, толщина листа стеклопластика составляла 2 мм. Распределение дефектов показано ниже.

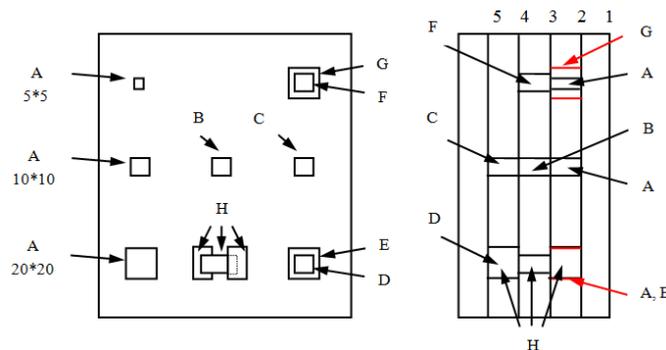


Рис. 1. Схема образца

Экспериментальные установки

Экспериментальные установки включали в себя образец, источники оптического нагрева с галогеновыми лампами мощностью 1 кВт и 30 кВт, тепловизор NEC, персональный компьютер с программой управления экспериментом и программой обработки термограмм и т.д. Установки настроены на проведение исследований при одностороннем тепловом неразрушающем контроле.

Эксперименты заключались в следующем.

Первый эксперимент. В качестве нагревателя использовалась две галогеновые лампы мощностью 1 кВт каждая. Нагрев осуществлялся 10 секунд. Запись 300 термограмм с тепловизора со скоростью 10 кадров в секунду и включение/выключение нагревателя производилось программно.

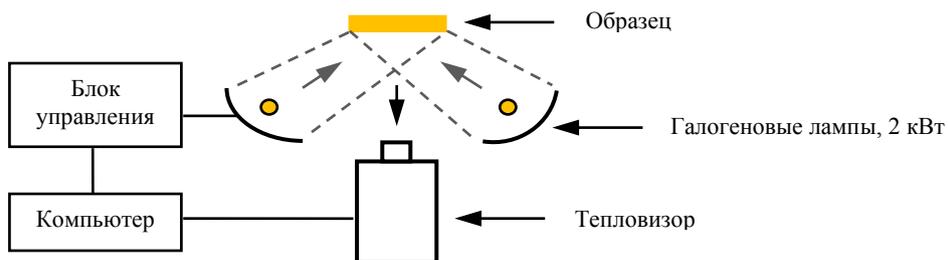


Рис. 2. Схема эксперимента с двумя 1 кВт лампами

Второй эксперимент. В качестве оптического нагревателя использовалась галогеновые лампы суммарной мощностью 30 кВт. Нагрев осуществлялся 5 секунд. Запись 350 термограмм со скоростью 10 кадров в секунду производилось программно. Управление временем нагрева с помощью кнопки включения/выключения и шторок производилось вручную.

Нагреватель в своей конструкции имеет шторки для перекрытия паразитного теплового излучения от разогретых ламп после выключения нагревателя.

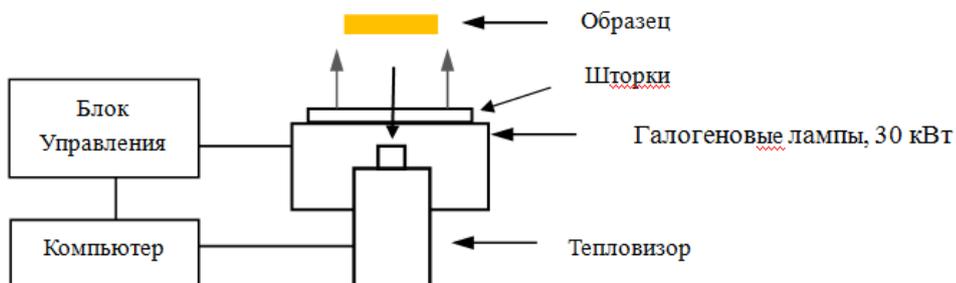


Рис. 3. Схема эксперимента с 30 кВт лампой

Общим недостатком оптических нагревов является сложность в получении равномерного по площади образца уровня нагрева. Мешающими факторами являются разное расстояние от ламп до нагреваемой поверхности образца, конструктивные особенности оптических нагревателей, неравномерность коэффициента излучения поверхности образца.

На рисунке 4 представлены термограммы для двухламповой 2-х киловаттной установки и для мощного 30-ти киловаттного нагревателя. В первом случае мы видим довольно равномерный нагрев образца, во втором заметны полосы более сильного нагрева. Полосы вызваны излучением нагретых панелей шторок и самими мощными лампами.

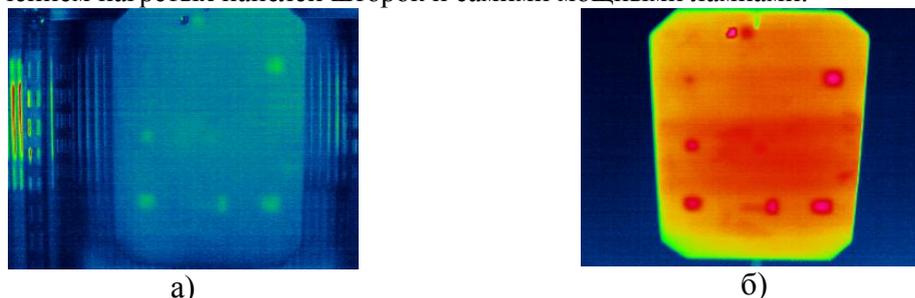


Рис. 4. Термограммы для двухламповой 2-х киловаттной установки а) и для мощного 30-ти киловаттного нагревателя б) Момент времени соответствует 16-й секунде остывания

Для начала применим метод главных компонент, МГК. Обычно этот метод в первой компоненте показывает самые сильные изменения температурных полей, все последующие компоненты отражают более слабые изменения, связанные с внутренними тепловыми потоками.



Рис. 5. Применение метода главных компонент к последовательности термограмм первого эксперимента, а) 1-я компонента, б) 2-я компонента

При нагреве образца в первом эксперименте в течении 10 сек 2-мя лампами по 1 кВт после применения МГК на 2-х компонентных термограммах хорошо видны дефекты слоя №2 и очень слабо проявляются дефекты слоя №3. Дефекты слоя №4 не видны. Последующие компоненты носят шумовой характер. См. рисунок 5.

Можно предположить, что все остальные методы не смогут улучшить выявляемость дефектных структур образца.

При нагреве образца во втором эксперименте в течении 5 сек 6-ю лампами по 5 кВт после применения МГК на 4-х компонентных термограммах хорошо видны дефекты слоя №2 и слабо проявляются дефекты слоя №3 на компонентной термограмме №3. Дефекты слоя №4 видны на компонентной термограмме №4. Соответствующие дефекты выделены пунктирными окружностями. Последующие компоненты носят шумовой характер. См. рисунок 6.

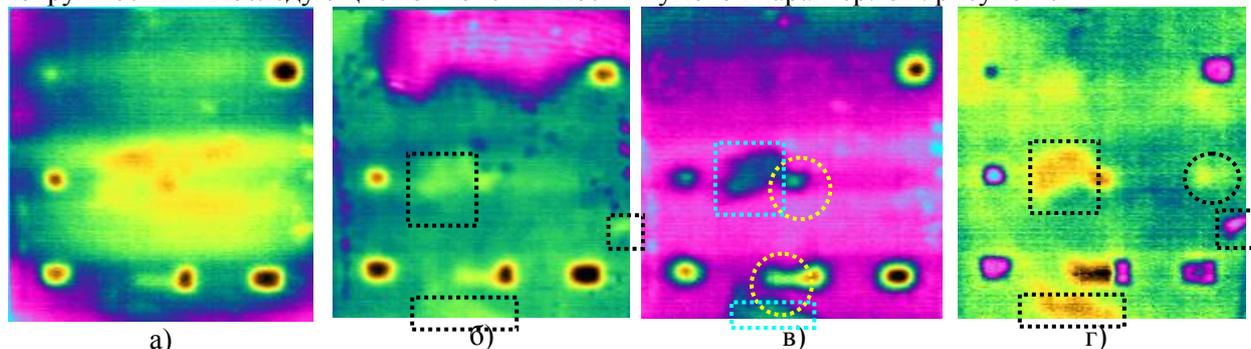


Рис. 6. Применение метода главных компонент к последовательности термограмм второго эксперимента, а) 1-я компонента, б) 2-я компонента, в) 3-я компонента, г) 4-я компонента

Этот метод на первой и второй компонентах хорошо показал неравномерность нагрева, остальные компонентные термограммы кроме дефектов показывают дополнительные структуры не заложенные изначально при изготовлении образца. Скорее всего эти структуры отражают качество склейки слоёв. Эти элементы показаны на термограммах прямоугольными пунктирными линиями.

Применение вейвлет-преобразования.

Исходя из формы изменения температуры или температурного сигнала во времени при одностороннем контроле применим вейвлеты, подобные функции Гаусса.

Непрерывное вейвлет-преобразование имеет следующий вид:

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{t_1}^{t_2} S(t) \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

где $S(t)$ - сигнал, а $\phi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ - ядро вейвлет-преобразования, a – масштаб преобразования (scale) и b – сдвиг (shift).

Принято, что масштаб связан с частотой. В случае анализа последовательностей термограмм при одномерном временном анализе масштаб может быть связан с температурным изменением, длительностью температурного сигнала. Сдвиг в нашем анализе может быть связан с появлением максимума температурного сигнала.

Имеется группа вейвлетов, основанных на функции Гаусса:

$$\phi(t) = (-1)^{n+1} \frac{d^n}{dx^n} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right),$$

где $n \geq 1$.

В нашем случае наиболее применим вейвлет МНАТ, то есть «Мексиканская шляпа», поскольку его форма похожа на температурный сигнал:

$$\varphi(t) = (1-t^2) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right).$$

В программе ThermoFit Pro имеется модуль применения вейвлет-анализа с различными вейвлетами. После генерации вейвлет-коэффициентов в программе возможно произвести восстановление термограммы на определенных условиях.

Имеется три способа восстановления, реализованные в программе ThermoFit Pro.

Первый способ восстанавливает термограмму по заданным сдвигу и масштабу. Второй способ предполагает задать диапазон масштабов при выбранном сдвиге и третий способ представляет собой синтез термограммы по вейвлет-контрасту при выбранных масштабах и сдвигах.

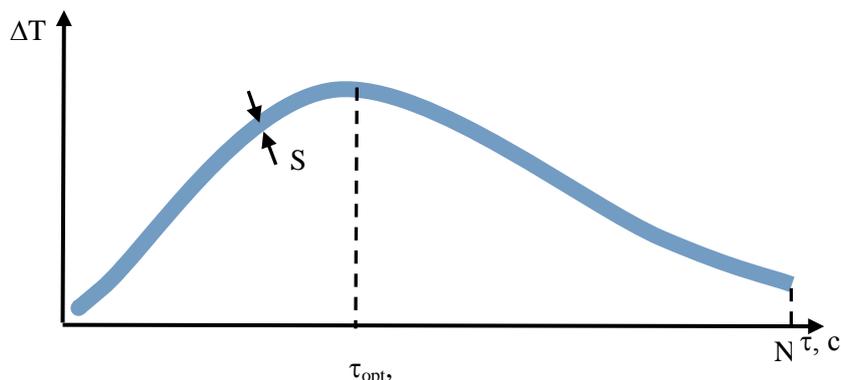


Рис. 7. Вид температурного сигнала

Выбор параметров синтеза. Момент времени появления максимума температурного сигнала τ_{opt} можно использовать для выбора параметра b . Масштаб связан с длительностью температурного сигнала. Величина масштаба может быть выбрана от размера всей последовательности N до величины превышающей уровень шума S раза в три.

Вейвлет-анализ последовательности термограмм из первого эксперимента.

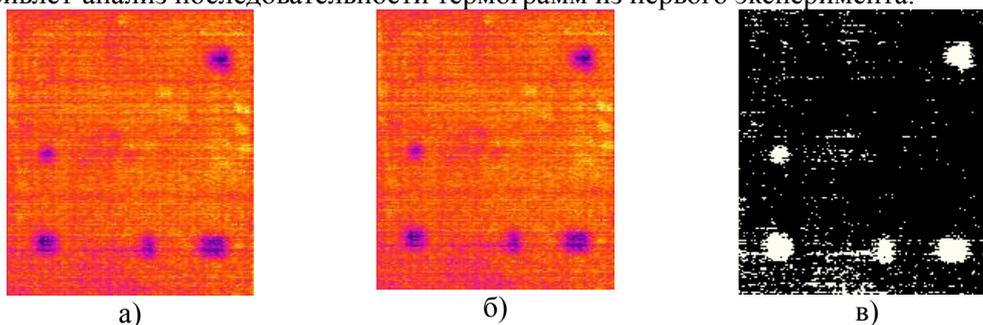


Рис. 8. Восстановленные термограммы, а) при помощи опции «Synthesis», $a = 224$, $b = 130$ (соответствует времени $\tau_{opt} = 12,8$ с и периоду, масштабу 10,3 с); б) при помощи опции «Thermogram Synthesis», $a =$ от 152 до 254, $b = 130$ (соответствует времени $\tau_{opt} = 12,8$ с и периодам от 6,9 с до 11,7 с); в) бинарная карта дефектов при $SNR = 5,93$ уровня ложной тревоги 0%

Восстановление показывает, что для синтеза термограмм и ускорения обработки достаточно работать в опции «Synthesis». Для дефекта «1» $SNR = 5,72$, для дефекта «2» $SNR = 5,93$. Применение восстановления позволило «очистить термограмму» и построить бинарную карту дефектов.

На рисунке 9 показано применение вейвлет-контраста. В этом случае наблюдаются сложности с выбором факторов а и б. Для дефекта «3» $SNR = 2,92$.

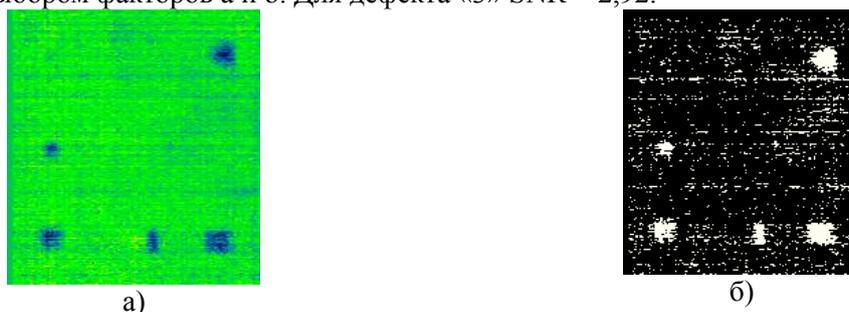


Рис. 9. Синтез термограммы а) по вейвлет-контрасту при выбранных масштабах и сдвигах $a1 = 200$, $b1 = 184$; $a2 = 128$, $b2 = 21$; б) бинарная карта при $SNR = 2,92$

Вейвлет-анализ последовательности термограмм из второго эксперимента. Обработка последовательности, полученной во втором эксперименте выполнена в том же режиме, что и обработка последовательности из первого эксперимента. Естественно, увеличение мощности нагрева уменьшает уровень флуктуационных шумов и повышает SNR .

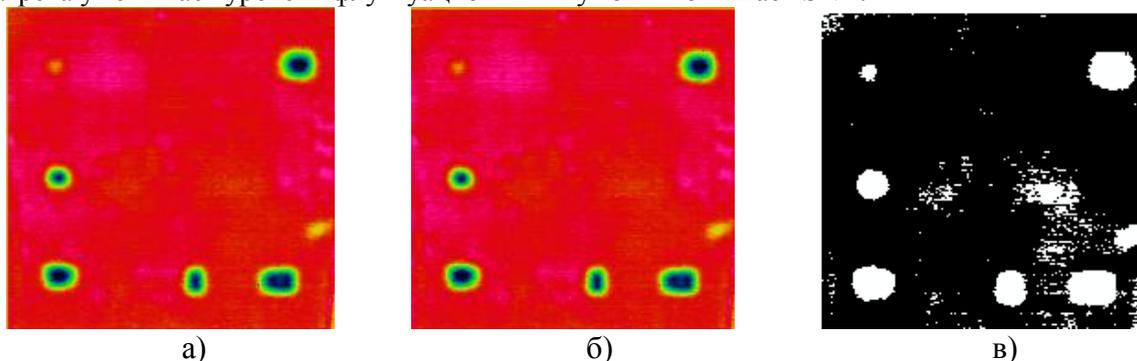


Рис. 10. Восстановленные термограммы, а) при помощи опции «Synthesis», $a = 225$, $b = 130$ (соответствует времени $\tau_{opt} = 12,8$ с и периоду, масштабу 10,35 с); б) при помощи опции «Thermogram Synthesis», $a =$ от 202 до 295, $b = 130$ (соответствует времени $\tau_{opt} = 12,8$ с и периодам от 9,29 с до 13,43 с); в) бинарное изображение дефектов (бинарная карта) при $SNR = 29,76$ и уровня ложной тревоги 0%.

Для дефекта «1» $SNR = 26,6$, для дефекта «2» $SNR = 29,76$. Применение восстановления позволило «очистить термограмму» и построить бинарную карту дефектов.

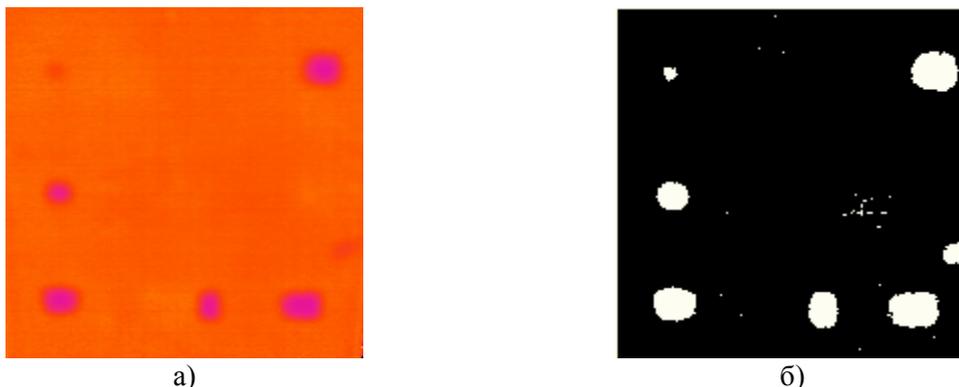


Рис. 11. Синтез термограммы а) по вейвлет-контрасту при выбранных масштабах и сдвигах $a1 = 232, b1 = 222; a2 = 188, b2 = 26$; б) бинарная карта при $SNR = 23,27$

Вывод.

Синтез термограмм следует производить с учетом оптимальных времён температурных сигналов и их длительностей.

Синтез термограмм позволяет выравнивать поле изображения, уменьшать число артефактов и, следовательно, позволяет строить бинарные изображения дефектов (бинарные карты).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль //М.: ИД Спектр, 2013. Издание: 2-е.— 544 с: ил. и цветная вкладка 24 с.
2. Козлов П.В., Чен Б.Б. Вейвлет-преобразование и анализ временных рядов // Вестник КРСУ, 2002. – Т2. – № 2. – С. 64—69.
3. Витязев В.В. Вейвлет -анализ временных рядов: Учеб. пособие. –СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2001. – 58 с.

Сведения об авторах:

Ширяев В.В. : г. Томск, канд. техн. наук, доц., Национальный исследовательский томский политехнический университет, телефон: 8 (9138) 76-51-76, e-mail: shiryaev@tpu.ru, тепловой неразрушающий контроль.

Го Вэньцзя: г. Томск, бакалавр, Национальный исследовательский томский политехнический университет, телефон: 8 (9231) 46-06-88, e-mail: guowenjia@mail.ru.

Люй Цзинь: г.Томск, студент, Национальный исследовательский томский политехнический университет, телефон: 8 (9231) 56-27-99, e-mail: 2495355476@qq.com.

УДК 621.317.39

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СДВИГОВ ФАЗ МЕНЕЕ 1° (RESEARCH OF THE DEVICE FOR MEASUREMENT OF SHIFTS OF PHASES LESS THAN 1)

Е.К. Киселёв, Д.В. Мильяев
E. Kiselyov, D. Milyaev

Томский политехнический университет
E-mail: mdv@tpu.ru

Проводятся исследования устройства, реализованное на методе преобразования сдвига фаз в напряжение. Данное устройство позволяет производить измерения с 0.0012°. Фазометрическое измерительное устройство (ФИУ) преобразовывает сдвиг фазы в напряжение, представляет собой двухканальное устройство, включающее в себя формирователи синусоиды в прямоугольные импульсы (TTL), устройство установки нуля, выходные фильтры.

(Researches device implemented method for converting a phase shift in the voltage. This device allows measurements 0.0012°. Phase meter measuring apparatus converts a phase shift in voltage is a two-channel device incorporating a sinusoid conditioners rectangular pulses (TTL), zero-setting device, output filters)

Ключевые слова:

Сдвиг фаз, осциллограф, измерение, угол, градус, малый.
(shift phase, the oscilloscope, measure, angle, degrees, small)

Введение

Сдвигом фаз называют разность начальных фаз переменных физических величин, изменяющихся по синусоидальному закону с одинаковой частотой (напряжение, ток).

На сегодняшний день существует несколько способов измерения фазовых сдвигов двух синусоидальных сигналов. Одним из которых является метод преобразования сдвига фаз в напряжение (Рис. 1). Суть метода заключается в следующем:

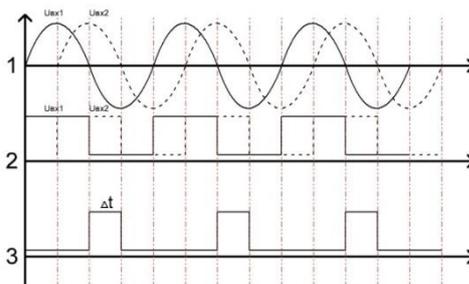


Рис. 1. Основные этапы преобразования сдвига фаз в напряжение

Входные сигналы, сдвинутые по фазе относительно друг друга (1), поступают на формирователи, в качестве которых используются компараторы, формирующие из синусоид прямоугольные импульсы (2). Следующим шагом преобразования, является преобразование в интервал времени. Импульсы поступают на логический элемент, который преобразовывает смещение двух сигналов друг относительно друга в интервал времени (3). Среднее напряжение в данном методе рассчитывается по формуле 1.

$$U = \frac{U_{пит} \cdot \Delta\varphi}{180^\circ} \quad (1)$$

Учитывая, что напряжение питания в логических элементах соответствует 5В, то не сложно посчитать, что хотя бы при 1° напряжение составит:

$$U = \frac{5 \cdot 1}{180^\circ} = 0.028\text{В}$$

Данный метод применим только для измерения углов более одного градуса, что не подходит под заявленные требования. На кафедре ИИТ Томского политехнического университета разрабатывался макет на основе данного метода, но с не большими модификациями. Осциллограммы усовершенствованного метода представлены на рис. 2

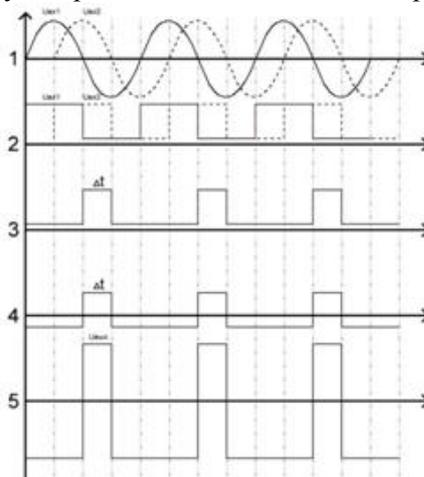


Рис. 2. Осциллограммы усовершенствованного метода

Отличительной особенностью данной осциллограммы является 4 и 5 этапы. На данных этапах происходит удаление из сигнала постоянной составляющей и усиления напряжения до $\pm 15\text{В}$. Данные шаги позволяют добиться увеличения чувствительности прибора практически в шесть раз:

$$U = \frac{30 \cdot 1}{180^\circ} = 0.167\text{В}, \quad \frac{0.167}{0.028} = 5.964$$

Благодаря имеющимся формулам, можно построить график зависимостей напряжения от сдвигов фаз (рис 3).

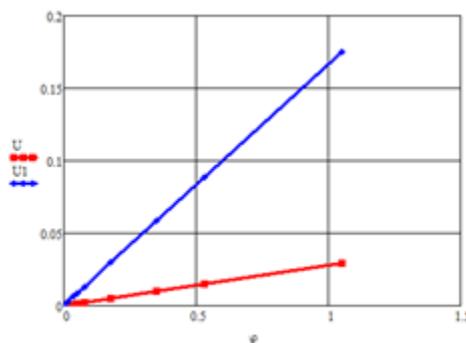


Рис. 3. Зависимости напряжений от сдвигов фаз двух вариантов метода

Усиление напряжения до 30В даёт значительное увеличение чувствительности по сравнению с исходным методом, но этого всё равно не достаточно для измерения с высокой точностью сдвиги фаз, не превышающих одного градуса. Для того, чтобы измерять сдвиги фаз менее 1° , в схему макета было внесено изменение, касающееся элементной базы. В методе, представленном на рисунке 2, усилитель напряжения был собран из двух комплементарных транзисторов, благодаря его замене на операционный усилитель, удалось достичь повышения чувствительности до 1.37В. При этом изменилась характеристика и осциллограмма приобрела следующий вид (рис. 4).

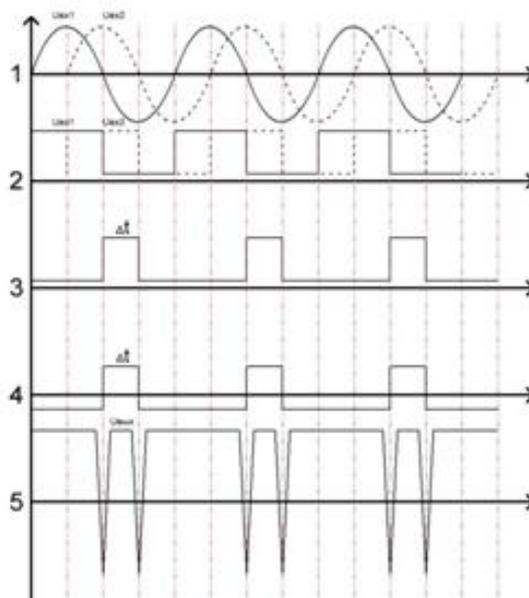


Рис. 4. Осциллограммы после внесения модификаций в элементную базу
В результате выходное напряжение рассчитывается по формуле 2.

$$U = \arctg \left(\frac{U_{\text{нлт}} \Delta \varphi}{180^\circ} \right) \quad (2)$$

При измерении необходимо использовать вольтметр настроенный на измерение среднеквадратического значения напряжения. Для расчёта сдвига фазы по измеренному напряжению необходимо использовать формулу 3.

$$\Delta \varphi = \text{tg}(U) \cdot \frac{180}{U_{\text{нлт}}} \quad (3)$$

Макет, собранный на основе данного метода также имеет ряд достоинств: имеются два не зависимых предусилителя с переменным коэффициентом как больше, так и меньше единицы в случае если входные сигналы превышают максимальное значение; стоит отметить и наличие фазовращателя, необходимого для установки рабочей точки.

Эксперимент проводился с сигналами на частоте 10кГц, амплитуде 2В и сдвигах фаз от 0.0012° до 0.725°. При эксперименте использовалась RC-цепочка первого порядка. Данные полученные в ходе эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1. Экспериментальные данные

$\Delta \varphi, ^\circ$	$U(\text{эксп}), \text{В}$	$U(\text{теор}), \text{В}$
0.0037	0.030	0.021
0.017	0.120	0.094
0.037	0.230	0.203
0.053	0.320	0.286
0.079	0.440	0.414
0.178	0.730	0.78
0.352	1.060	1.098
0.532	1.250	1.245
1.051	1.400	1.401

В результате были построены графики зависимостей теоритического и экспериментального напряжений от сдвига фаз (рис. 5).

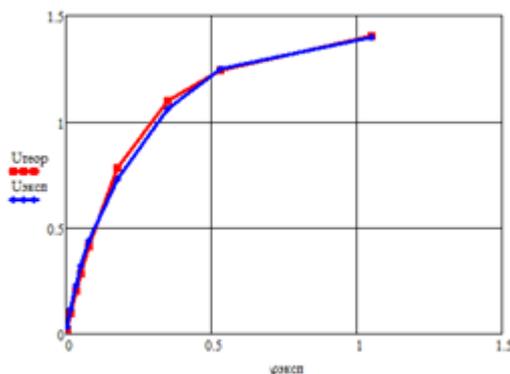


Рис. 5. Графики зависимостей теоритического и экспериментального напряжений от сдвига фаз

Из графиков видно что результаты полученные экспериментальным путём практически совпадают с рассчитанными. Не совпадения данных можно объяснить следующим образом. На реальном сигнале возникают выбросы и завалы фронтов приводящие к отклонению (рис. 6).

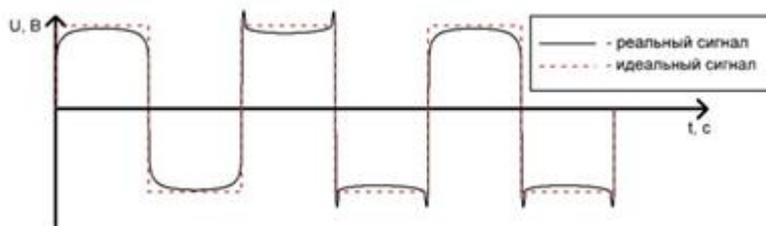


Рис. 6. Причина отклонения от рассчитанных данных

В результате было спроектировано устройство способное зафиксировать сдвиг фазы от 0.003° .

К достоинствам данного прибора можно отнести высокую чувствительность и возможность измерять сдвиг фазы менее 1° . Из недостатков стоит отметить не линейную зависимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атамалян Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин: учебное пособие для студ. Вузов. –М.:Мыш. шк., 1989. -384 с.
2. Полищук Е. С. Электрические измерения электрических величин. – М.: Издательское объединение «Высшая школа», 1984. – 360 с.

Сведения об авторах:

Киселев Е.К.: студент кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета.

Миляев Д.В.: к.т.н., доцент кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета.

УДК 537.86

ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ И НЕОДНОРОДНЫЕ ВОЛНЫ В МЕТАМАТЕРИАЛЕ (DIFFRACTION LIMIT AND THE EVANESCENT WAVES IN METAMATERIAL)

А.С. Мирончев, В.П. Якубов
A. Mironchev, V. Yakubov

Томский государственный университет
E-mail: mironchev42@mail.ru

Предлагается теоретическое моделирование многократных переотражений плоской электромагнитной волны в слое метаматериала с произвольными параметрами. Рассматриваются случаи наклонного падения на слой плоской однородной волны с горизонтальной и вертикальной поляризациями. Рассматривается теоретическое моделирование эффекта фокусировки электромагнитной волны слоем метаматериала с произвольными параметрами. Приводятся результаты фокусировки излучения точечных источников плоской пластиной из метаматериала как с учетом, так и без учета многократных переотражений.

(A theoretical modeling of multiple reflections of a plane electromagnetic wave in the metamaterial layer with arbitrary parameters. The cases of oblique incidence on a layer of uniform plane waves with horizontal and vertical polarizations were discussed. The paper shows theoretical simulation focusing effect electromagnetic wave in the layer of metamaterial with arbitrary parameters. The results focusing point radiation sources by flat plate of a metamaterial including and excluding multiple reflections.)

Ключевые слова:

Плоский слой, метаматериал, поляризация, многократные переотражения, неоднородные волны, фокусировка.

(Plane layer, metamaterial, polarization, multiple reflections, evanescent waves, focusing.)

Задолго до введения термина «метаматериал» была предсказана возможность отрицательного преломления электромагнитных волн. В.Г. Веселаго [1], который предложил идею совершенно оригинальной линзы, основанной на том, что плоскопараллельный слой материала с показателем преломления $n = -1$ обладает свойством фокусировать изображение объекта, помещенного перед ним. Не спадающий интерес к таким средам обусловлен и другими многочисленными возможными приложениями.

Ранее авторами настоящей работы была показана возможность создания метаматериала для радиодиапазона как искусственной композиционной среды, составленной из определенным образом ориентированных прямолинейных и кольцевых проводников [2, 3]. Такая среда может иметь отрицательный коэффициент преломления.

Пусть в свободном пространстве в декартовой системе координат перпендикулярно оси z расположен плоскопараллельный однородный слой толщиной d . Из полупространства $z < 0$ с показателем преломления $n = 1$ (воздух) на слой падает плоская электромагнитная волна (рис. 1). Показатель преломления такого слоя для метаматериала ($\text{Re}(\varepsilon) \leq 0, \text{Re}(\mu) \leq 0$) вводится также, как и для обычных диэлектриков $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$. Единственным требованием при извлечении квадратного корня является условие физической реализуемости [4], сводящееся к условию положительности мнимой части показателя преломления для сред с поглощением: $\text{Im}(n) \geq 0$. В случае метаматериалов это автоматически приводит к отрицательному значению вещественной части показателя преломления $\text{Re}(n) \leq 0$, и возникновению отрицательного угла преломления (рис. 1). Что касается многократных переотражений волн внутри слоя метаматериала, то они образуются точно также как для обычных диэлектриков (рис.1).

Коэффициенты отражения от границы раздела полупространств «воздух-диэлектрик» для горизонтальной и вертикальной поляризации соответственно имеют вид [5]:

$$R_G = \frac{\kappa_{1z} - \kappa_{2z}/\mu}{\kappa_{1z} + \kappa_{2z}/\mu}, \quad R_B = \frac{\kappa_{1z} - \kappa_{2z}/\varepsilon}{\kappa_{1z} + \kappa_{2z}/\varepsilon}$$

Для горизонтальной и вертикальной поляризации соответственно, где $\kappa_{1z} = \sqrt{k^2 - \kappa_x^2}$, - вертикальная компонента волнового вектора отраженной волны и $\kappa_{2z} = \sqrt{k^2 \varepsilon \mu - \kappa_x^2}$ - вертикальная компонента волнового вектора в слое, связанные с горизонтальной компонентой $\kappa_x = k \sin(\alpha)$, α – угол падения волны,

$$\mathbf{\kappa}_1 = (\kappa_x, 0, \kappa_{1z}) \quad \text{и} \quad \mathbf{\kappa}_2 = (\kappa_x, 0, \kappa_{2z})$$

– волновые вектора падающей и преломленной волн так, что $k = \sqrt{\kappa_x^2 + \kappa_{1z}^2} = 2\pi f/c$.

При этом следует обеспечивать выполнения условий: $\text{Im}(\kappa_{1z}) \geq 0$ и $\text{Im}(\kappa_{2z}) \geq 0$.

Рассмотрим, сначала, случай горизонтальной поляризации падающей волны с комплексной амплитудой $\mathbf{E}_0 = (0, E_0(\mathbf{r}), 0)$. Для единственной составляющей напряженности этой волны в некоторой точке $\mathbf{r} = (x, y, z)$ можно записать:

$$E_0(\mathbf{r}) = \exp\{i[\kappa_x x + \kappa_{1z} z]\}, \quad z < 0. \quad (1)$$

С учетом многократных переотражений суммарная комплексная амплитуда отраженной слоем волны представляется как

$$E_1(\mathbf{r}) = [R + (1-R)A] \exp\{i[\kappa_x x - \kappa_{1z} z]\}, \quad (2)$$

где $R = R_G$ - коэффициент отражения от границы полупространств «воздух-диэлектрик», а величина A характеризует комплексную амплитуду поля суммы многократно переотраженных волн, возвращающихся изнутри слоя к первой границе слоя. При этом согласно [5] величина A находится как

$$A = -(1+R) \frac{R \cdot \exp(2i\kappa_{2z} d)}{1 - R^2 \exp(2i\kappa_{2z} d)}, \quad (3)$$

где d – толщина слоя. Здесь фазовые множители учитывают многократные переотражения волн внутри слоя. Без учета многократных переотражений величина $A = 0$. В целом вектор напряженности электрического поля отраженной волны определяется как $\mathbf{E}_1 = (0, E_1(\mathbf{r}), 0)$.

Поле внутри слоя ($0 \leq z \leq d$) в некоторой точке $\mathbf{r} = (x, y, z)$ образуют две встречные волны, распространяющиеся слева направо и наоборот – справа налево. Эти волны характеризуются соответственно амплитудами

$$E_{12}(\mathbf{r}) = [1 + R - A \cdot R] \exp\{i[\kappa_x x + \kappa_{2z} z]\} \quad \text{и} \quad E_{21}(\mathbf{r}) = A \exp\{i[\kappa_x x - \kappa_{2z} z]\}$$

Поле прошедшей слой волны представляется как

$$E_3(\mathbf{r}) = [1 + R - A \cdot R] (1-R) \exp\{i[\kappa_x x + \kappa_{1z}(z-d) + \kappa_{2z} d]\}, \quad z > d.$$

Все приведенные выше соотношения хорошо известны [5] и применимы как для обычных диэлектриков, так и для метаматериалов. На рис. 2 показаны результаты расчетов фазовых набегов Φ , образующихся суммарных волн для случая обычного диэлектрика (а) и метаматериала (б) при двух различных углах падения $\alpha = 30^\circ$ (1) и $\alpha = 47^\circ$ (2). Частота излучения была задана $f = 10$ ГГц, а толщина слоя – $d = 5$ см.

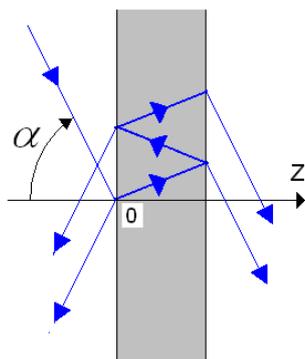


Рис.1. Геометрия задачи

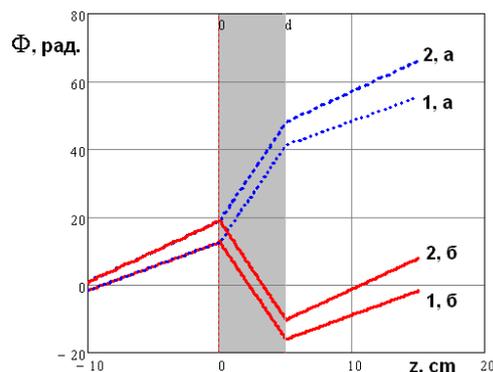


Рис. 2. Фазовый набег волны в слое обычного диэлектрика (а) и метаматериала (б)

Комплексные проницаемости для метаматериала были заданы: $\epsilon = -4 + 0.001i$, $\mu = -2 + 0.001i$. Для обычного диэлектрика их значения были заданы, соответственно равными: $\epsilon = 4 + 0.001i$, $\mu = 2 + 0.001i$.

Видно, что влияние метаматериала сводится к появлению отрицательного набега фазы у волны, прошедшей слой. Внутри слоя образуются неоднородные т.н. «левые» волны с отрицательным набегом фазы. Важно, что и перед слоем и внутри плоского слоя в результате интерференции прямой и обратной волн образуется режим стоячих волн, при котором наблюдается характерные изменения амплитуды и фазы суммарной волны. Однако, при произвольном угле падения влияние многократных переотражений на фазовую структуру суммарного поля незначительно. Так на рис. 3. в качестве примера показан возникающий сдвиг фазы при учете и без учета многократных переотражений. Объясняется это тем, что при наличии даже небольшого затухания амплитуда многократно переотраженных волн быстро уменьшается и как следствие соответствующая интерференционная картина внутри слоя как бы выглаживается.

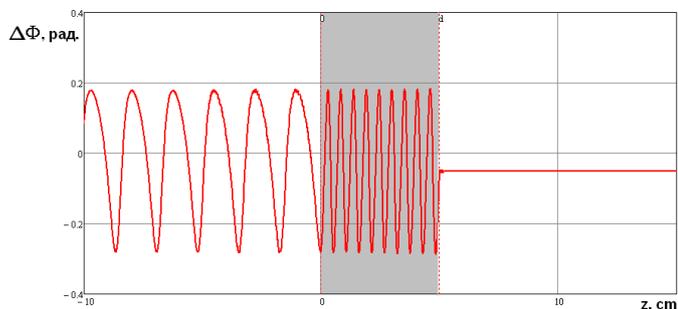


Рис. 3. Влияние многократных переотражений в слое метаматериала на фазовый сдвиг суммарного поля

Фазовая картина отражает наличие стоячих волн. Внутри слоя длина волны уменьшается и как следствие уменьшается пространственный период следовая стоячих волн.

При рассмотрении отражении вертикально поляризованного излучения следует обратиться к горизонтальной составляющей магнитного поля и использовать для неё соотношения (2) и (3), где под R необходимо понимать величину R_B , определенную в (1). Все получаемые далее соотношения аналогичны случаю горизонтальной поляризации. Основное отличие доставляет лишь R_B от R_T , в частности, наличие угла Брюстера для вертикальной поляризации.

Наибольший интерес представляет анализ влияния многократных переотражений волн внутри слоя на мощность излучения, т.е. на комплексный вектор Пойнтинга

$$\mathbf{P} = \frac{1}{2} [\mathbf{E} \mathbf{H}^*]$$

Необходимые для расчета векторов Пойнтинга значения векторов напряженности магнитного поля для отраженной и прошедшей слой волн, находятся для случая плоских волн как

$$\mathbf{H}_1 = \frac{1}{z_0} \left[\frac{\mathbf{k}_1}{k} \times \mathbf{E}_1 \right], \quad \mathbf{H}_3 = \frac{1}{z_0} \left[\frac{\mathbf{k}_1}{k} \times \mathbf{E}_3 \right].$$

Как известно вещественная часть этого вектора $\text{Re}\{\mathbf{P}\}$ описывает среднюю за период мощность электромагнитного излучения переносимую через единичную площадку. Вычислив модули этих частей для падающей, отраженной и прошедшей слой волн как

$$P_0 = |\text{Re}\{\mathbf{P}_0\}|, \quad P_1 = |\text{Re}\{\mathbf{P}_1\}|, \quad P_3 = |\text{Re}\{\mathbf{P}_3\}|,$$

можно определить коэффициенты отражения, прохождения и поглощения волн по мощности в слое, соответственно: $V = P_1/P_0$, $T = P_3/P_0$, $W = 1 - V - T$.

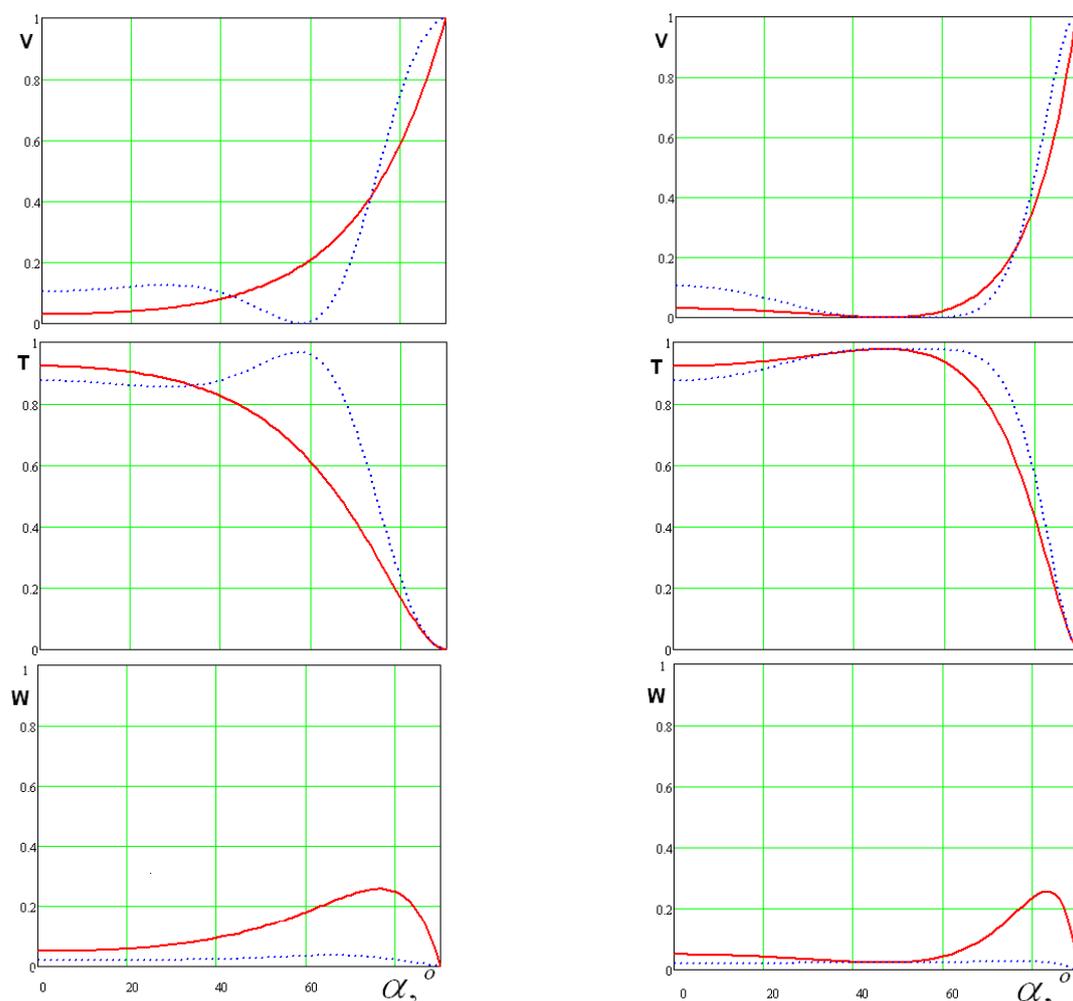


Рис. 4. Коэффициенты отражения (V), прохождения (T) и поглощения (W) для слоя метаматериала в зависимости от угла падения плоской волны в случае горизонтальной (слева) и вертикальной (справа) поляризации без учета (сплошная кривая) и с учетом (пунктирная кривая) многократных переотражений

На рис. 4 приведены зависимости коэффициентов отражения V , прохождения T и поглощения W по мощности для плоского слоя метаматериала в зависимости от угла падения плоской волны в случае горизонтальной и вертикальной поляризации без учета и с учетом многократных переотражений. Представлены результаты расчета для слоя метаматериала толщиной $d = 5$ см с параметрами: $\varepsilon = -4 + 0.001i$, $\mu = -2 + 0.001i$.

Можно заметить, что многократные переотражения имеют большое значение при формировании поля проходящего через слой метаматериала. Так при некотором угле падения волны ($\alpha = 58^\circ$) наблюдается просветление слоя, соответствующем четвертьволновому наклонному пути волны в слое. Этот угол существует и для горизонтальной и для вертикальной поляризации падающей волны. Для вертикальной поляризации кроме того наблюдается эффект угла Брюстера ($\alpha = 47^\circ$), при котором отражение минимально. В результате для вертикальной поляризации действие угла Брюстера как бы пролонгируется. Любопытно, что в случае обычного диэлектрика с симметричными параметрами ($\varepsilon = +4 + 0.001i$, $\mu = +2 + 0.001i$) результаты совпадают.

Все проведенные расчеты с учетом многократных переотражений тщательно протестированы на совпадение граничных условий, непрерывности фазы и теоремы Пойнтинга при переходе границ раздела сред как для однородных, так и для неоднородных волн.

Следствием необычного преломления волн на границе сред, разделяющей обычный диэлектрик и метаматериал, является эффект собирающей линзы, который наблюдается для плоскопараллельной пластины, выполненной из «левой» среды и помещенной в «правую» среду. В литературе достаточно подробно обсуждается возможность использования неотражающей пластины, т.н. идеальной «суперлинзы», когда $n = -1$. В настоящей работе приводятся результаты численного эксперимента по фокусировке с использованием метаматериала с относительно произвольными значением, приводится сравнение фокусировки плоскопараллельной пластиной из метаматериала с учетом и без учета многократных переотражений.

Рассмотрим случай, когда в свободном пространстве в декартовой системе координат перпендикулярно оси z расположен плоскопараллельный однородный слой толщиной d . В полупространства $z < 0$ с показателем преломления $n = 1$ (воздух), на расстоянии $z = H$ располагаются два точечных источника, разнесенные друг от друга на расстоянии r (рис.1).

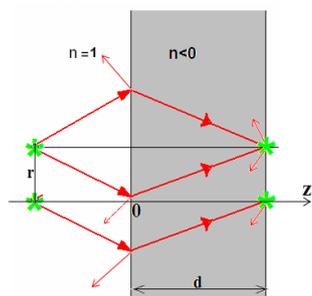


Рис. 5. Ход лучей при фокусировке на границу метаматериала

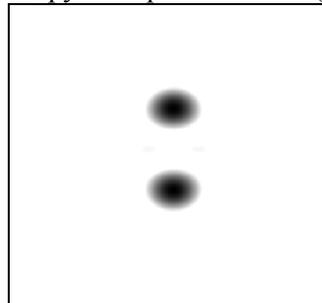


Рис. 6. Результат численного моделирования фокусировки

На рис. 5 показан ход лучей при фокусировке на границу метаматериала. На рис. 6 приведен результат численного моделирования эффекта фокусировки двух точечных источников на вторую границу слоя метаматериала. Длина волны излучения $\lambda = 10$ см, расстояние между источниками $r = 11$ см, толщина слоя $d = 18$ см, а показатель преломления метаматериала $n = -2 + i 0,001$, $H = 4$ см. Расчет поля за слоем метаматериала толщиной d может быть сделан согласно формуле Кирхгофа с использованием разложения Вейля поля сферической волны по плоским волнам [6].

Плоскопараллельная пластина из материала с отрицательным показателем преломления фокусирует не только однородные, но и неоднородные волны. Неоднородные волны исходят от источника, но в обычной среде достаточно быстро убывают по амплитуде даже, если среда непоглощающая. При распространении в метаматериале неоднородные волны вносят существенный вклад в общее поле и, суммируясь на выходе слоя, дают лучшую фокусировку, чем в свободном пространстве.

Для оценки вклада многократных переотражений неоднородных волн в слое метаматериала, проведено сравнение сфокусированных изображений с учетом и без учета многократных переотражений в слое метаматериала. Параметры модели выбраны теми самые, что и выше, но расстояние между источниками r изменялось до получения минимального

расстояния, когда их изображения ещё различимы. На рис. 7 видно, что без учета многократных переотражений изображения источников различимы при расстоянии $r=7,55$ см, а с учетом многократных переотражений, расстояние между источниками удалось сократить до $r=7$ см (рис. 8). Заметим, что дифракционный предел, определяемый длиной волны, в рассмотренных случаях равен $\lambda = 10$ см. Дифракционный предел удается превзойти за счет учета неоднородных волн.

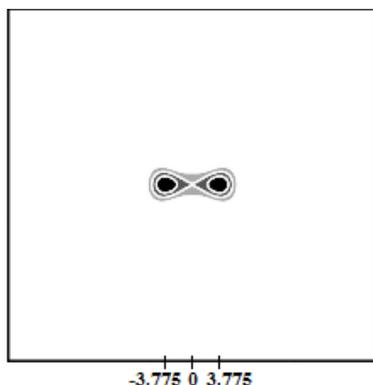


Рис. 7. Фокусировка на границу слоя метаматериала без учета многократных переотражений волн при расстоянии между источниками $r=7,55$ см

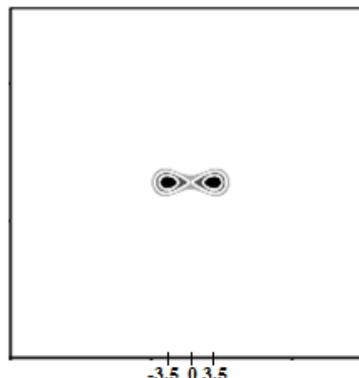


Рис. 8. Фокусировка на границу слоя метаматериала с учетом многократных переотражений волн при расстоянии между источниками $r=7$ см

Проведенное исследование позволяет проследить роль многократных переотражений электромагнитных волн в слое из метаматериала при формировании сфокусированного изображения на границе слоя метаматериала. Путем численного моделирования показано, что использование метаматериала с относительно произвольными параметрами позволяет превзойти дифракционный предел даже без учета многократных переотражений, а их учет еще более усиливает достигаемый эффект. Последнее обстоятельство позволяет использовать метаматериалы, например, для повышения пространственного разрешения в радиоволновой томографии [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселаго В. Г. // УФН. – 1967. – Т. 92. – № 3. – С. 517–526.
2. Якубов В.П., Беличенко В.П., Фисанов В.В. Основы электродинамики излучения и его взаимодействие с веществом. Томск: Издательство НТЛ, 2010. – 296 с.
3. Якубов В.П., Мироньчев А.С., Андрейцов А.Г., Пономарева И.О. // Известия вузов, Физика, 2010. – Т. 53. – № 9. – с. 17-20.
4. А.С Мироньчев., А.В. Горст, В.П Якубов// Известия вузов, Физика, 2014. – т. 57. – № 9/2. – с. 84-88.
5. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – Изд-во "Наука", 1973. – 343 с.
6. Якубов В.П., Мироньчев А.С. // Известия вузов. Физика. - 2012.–Т.55. – № 9/2 – С. 84-85.
7. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. – Томск:НТЛ, 2014. – 280 с.

Сведения об авторах:

Мироньчев А. С.: г. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, аспирант, метаматериалы, сверхшикополосная радиотомография.

Якубов В. П.: г.Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, заведующий кафедрой Радиофизики, д. ф.-м. н., профессор, сверхшикополосная радиотомография, радиолокация, метаматериалы.

УДК 620.179.1.082.5.05

**БЕСКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ДИАМЕТРА И ОВАЛЬНОСТИ КРУГЛЫХ
ПРОТЯЖЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ
(CONTACTLESS INSTRUMENT OF DIAMETER AND OVALITY MEASUREMENT OF
ROUND EXTENDED PRODUCTS)**

Н. Е. Мыктыбаев, Е. М. Федоров
N.E. Muktibaev, E.M. Fedorov

Томский политехнический университет
E-mail: evgeny_fyodorov@list.ru

Предложены оптические методы технологического контроля наружного диаметра круглых протяженных изделий, алгоритмы преобразования сигналов первичной измерительной информации, конструкции преобразователей.

(An optical in-process control techniques of round extended products outer diameter is proposed, transformation algorithms of primary measuring signals and transducers construction is offered.)

Ключевые слова:

Контроль диаметра, бесконтактные измерения.

(Diameter control, contactless measurements)

Введение

Метод измерения диаметра протяжённых изделий в расходящемся световом потоке основан на определении границ тени объекта с использованием многоэлементных линейных фотоприёмников в двух ортогональных измерительных каналах. На рис. 1 схематично показан оптический двухкоординатный первичный преобразователь, реализующий данный метод. Пунктирной линией указан ход лучей, которые проходят от соответствующих квазиточечных излучателей *LAZ1* и *LAZ2* по касательной к краям контролируемого объекта и формируют границы света – тени $t1_f$, $t1_s$ и $t2_f$, $t2_s$ на соответствующих многоэлементных фотоприёмниках *CCD1* и *CCD2*. Подробное описание метода и функций преобразования первичной измерительной информации приведены в работах [1, 2].

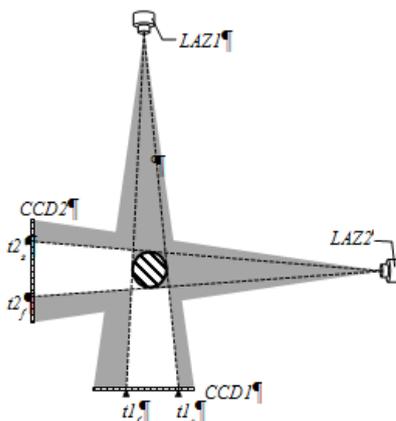


Рис. 1. Метод измерения диаметра в расходящемся световом пучке. *LAZ1*, и *LAZ2*, точечные излучатели а *CCD1* и *CCD2* многоэлементные фотоприёмники соответственно первого и второго измерительных каналов. $t1_f$, $t1_s$ и $t2_f$, $t2_s$ – изображения границ теней объекта

На практике определение точного геометрического положения теней объекта по фронту или срезу изображения его тени на многоэлементном приёмнике является очень сложной задачей, так как крутизна и форма изображений границ меняется в зависимости от локальной освещённости фотоприёмника и от положения измеряемого объекта относительно поверхности

фотоприёмника в ортогональной ему плоскости. На достоверность определения границ тени контролируемого объекта влияют, неизбежно возникающие в процессе эксплуатации измерительного оборудования, дефекты – такие как царапины оптических стёкол, пыль, загрязнения и т.п. Даже если учесть или исключить все вышеперечисленные факторы, то всё равно погрешность приборов основанных на данном методе ограничена дифракционными эффектами на границе измеряемого объекта, которые приводят к размытию фронтов изображения тени объекта. Методы, использующие эффект дифракции, для определения размеров сверхтонких непрозрачных объектов в частности волокон диаметром до нескольких сотен микрон известны давно и описаны в работах [2,3]. В работах [4,5] описаны дифракционные эффекты на границе непрозрачных объектов в параллельном световом пучке. Их широко применяют для повышения точности контроля геометрических размеров объектов, в частности кабелей, валов и т.п. Анализ дифракционной картины для повышения разрешающей способности приборов на основе расходящегося светового потока при контроле геометрических размеров больших объектов реализован в измерительных приборах фирм: SikoraAG, ZumbachElectronicSrl однако функция преобразования дифракционной картины в конечный диаметр отсутствует в свободном доступе. Это накладывает определённые ограничения на использование эффекта дифракции в приборах с расходящимся световым пучком.

Дифракционный метод расчёта диаметра

Суть эффекта дифракции на границе непрозрачных объектов пояснена рис.2. Свет частично проникает в область геометрической тени, а в освещённой области формирует систему дифракционных минимумов и максимумов, различие между которыми постепенно уменьшается и интенсивность света приближается к значению начальной освещённости I_0 . Расстояние от источника до приёмника L зависит от конструктивных особенностей оптического измерительного преобразователя и является величиной постоянной. Значение параметра y может изменяться в зависимости от положения объекта в зоне контроля [6].

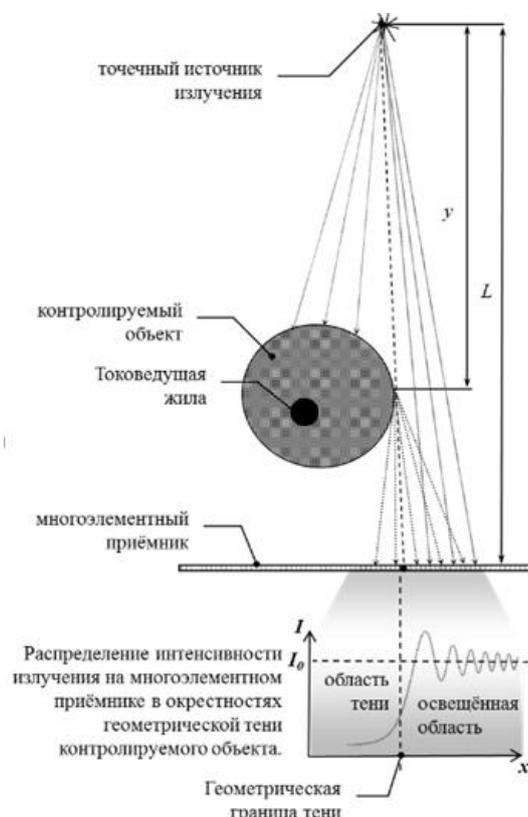


Рис. 2. Эффект вибрации на границе цилиндрического объекта

В случае, когда граница тени проецируется на плоскость фотоприёмника ортогонально, расстояние X_i от точки геометрической тени X_t до соответствующего максимума M_i

дифракционной картины и расстояние x_i от той же точки X_t до соответствующего минимума m_i определяются следующими выражениями:

$$X_i = \sqrt{\frac{\lambda L(L-y)}{2y} \left(4i + \frac{3}{2}\right)}, \quad x_i = \sqrt{\frac{\lambda L(L-y)}{2y} \left(4i + \frac{7}{2}\right)}, \quad (1)$$

где i – номер соответствующего максимума или минимума начиная с нулевого, L – расстояние от точечного источника излучения до многоэлементного фотоприёмника, y – расстояние от источника до границы объекта на котором происходит дифракция λ – длина волны источника излучения (рис. 3).

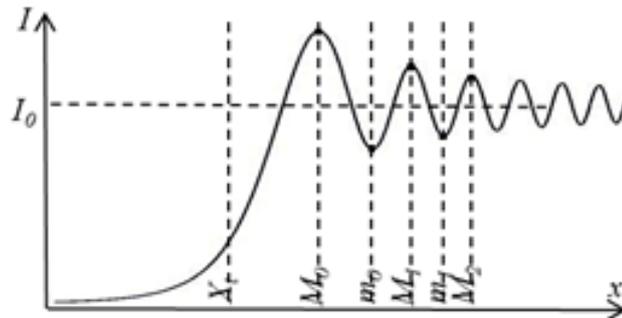


Рис.3. Распределение дифракционных экстремумов на видео изображении окрестностей геометрической границы тени: X_t – геометрическая граница тени, M_0, M_1, M_2 – положения максимумов первого, второго и третьего порядков, m_0, m_1 – положение минимумов первого и второго порядков

Положение проекции геометрической границы тени X_t на многоэлементном приёмнике является исходной величиной для вычисления диаметра объекта по методу, описанному в работе [1]. Найти положение проекции геометрической границы тени можно определив расстояние между первыми двумя максимумами (отрезок M_0M_1) или минимумами (отрезок m_0m_1) рис. 3. Так как в выражении (1) множитель $\sqrt{\lambda L(L-y)/2y}$ остаётся постоянным для положения всех экстремумов, то их распределение определяется множителем $\sqrt{4i + 3/2}$ для максимумов и соответственно множителем $\sqrt{4i + 7/2}$ для минимумов. Таким образом, расстояния между экстремумами могут пропорционально меняться в зависимости от параметров L, y , но их соотношения остаются постоянными. В частности отрезок X_tM_0 относится к отрезку M_0M_1 с постоянным коэффициентом $k_M=1.093$, а отрезок X_tm_0 к отрезку m_0m_1 с коэффициентом $k_m=2.154$. Это свойство позволяет вывести выражения для нахождения координат положений геометрических границ теней переднего и заднего фронтов видеоизображения объекта сканируемого многоэлементным линейным фотоприёмником.

$$\begin{aligned} X_{ft} &= 1.093(M_0 - M_1) + M_0 = 2.154(m_0 - m_1) + m_0 \\ X_{st} &= M_0 - 1.093(M_1 - M_0) = m_0 - 2.154(m_1 - m_0), \end{aligned} \quad (2)$$

где X_{ft} и X_{st} – положения передней и задней границы тени; M_0, M_1, m_0, m_1 – экстремумы дифракционного распределения.

В работе [1] выведены выражения для расчета диаметров D_x и D_y для каждой из осей в двухкоординатной оптической системе с расходящимся пучком:

$$\begin{aligned} D_x &= 2\sqrt{E_x^2 + (H_{x0} - E_y)^2} \sin \frac{1}{2} \left(\arctg \frac{X_2}{H_x} - \arctg \frac{X_1}{H_x} \right), \\ D_y &= 2\sqrt{E_y^2 + (H_{y0} - E_x)^2} \sin \frac{1}{2} \left(\arctg \frac{Y_2}{H_y} - \arctg \frac{Y_1}{H_y} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где расстояния от центра объекта до соответствующих осей E_x и E_y равны:

$$E_x = \frac{X_0 H \left(H_{x0} - Y_0 \frac{H_{y0}}{H_y} \right)}{(H_x H_y - X_0 Y_0)},$$

$$E_y = \frac{Y_0 H \left(H_{y0} - X_0 \frac{H_{x0}}{H_x} \right)}{(H_x H_y - X_0 Y_0)}.$$
(4)

Положения проекции центра объекта на соответствующих многоэлементных приёмниках X_0 и Y_0 равны:

$$X_0 = H_x \operatorname{tg} \frac{1}{2} \left(\operatorname{arctg} \frac{X_2}{H_x} + \operatorname{arctg} \frac{X_1}{H_x} \right),$$

$$Y_0 = H_y \operatorname{tg} \frac{1}{2} \left(\operatorname{arctg} \frac{Y_2}{H_y} + \operatorname{arctg} \frac{Y_1}{H_y} \right),$$
(5)

где в свою очередь положения начала X_1, Y_1 и конца X_2, Y_2 теней объекта на соответствующих приёмниках равны:

$$X_1 = f_x - B_{x0}, \quad X_2 = s_x - B_{x0},$$

$$Y_1 = f_y - B_{y0}, \quad Y_2 = s_y - B_{y0}.$$
(6)

Фронты и спады теней соответствующих приёмников f_x, s_x и f_y, s_y собственно являются измеренными значениями необходимыми для расчёта диаметра по вышеприведённым выражениям.

В работе [1] при выводе выражений (1–4) делается допущение о том, что изначально известны следующие параметры конструкции прибора:

Расстояния H_x и H_y от центра излучателя до плоскости приемника каждого из каналов.

Расстояния H_{x0} и H_{y0} от центра излучателя до центра рабочей зоны, т. е. до точки (0), являющейся пересечением измерительных осей.

Начала координат, являющиеся «нулевыми» ячейками приемников, расположенными в точках B_{x0} и B_{y0} .

В реальном измерительном приборе эти параметры далеки от конструктивных из-за неточности изготовления деталей, неидеальности реальной оптической системы, в отличие от теоретически смоделированной. Также ошибки вносит тот фактор, что реальный источник излучения (полупроводниковый лазер) все-таки является не идеально точечным. Если же в реальном приборе при расчёте диаметра использовать геометрические параметры, взятые из конструкции, то вычисленный диаметр не удовлетворяет требуемой погрешности. Измерить же эти параметры с достаточной точностью технически невозможно. Таким образом, для достижения необходимой точности вычисления диаметра измеряемого объекта по формулам (3–6), мы должны решить обратную задачу, то есть, имея набор круглых аттестованных калибров с известными диаметрами, необходимо отыскать точные значения шести геометрических параметров $H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}$.

Для вычисления необходимых геометрических параметров для каждого конкретного измерителя можно составить систему из шести уравнений, используя три аттестованных круглых калибра с известными диаметрами D_1, D_2, D_3 , для упрощения записи уравнений, выражения (3–6) в них входящие, обозначены как $f_i(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0})$ при $i=1-6$. Причём каждому уравнению соответствуют свои уникальные измеренные значения фронта и спада f_x, s_x и f_y, s_y по соответствующим измерительным осям. Уравнения являются независимыми друг от друга, однако точного аналитического или численного решения такой системы не существует из-за того, что реальная оптическая система отлична от идеальной описанной в работе [1].

$$\left\{ \begin{array}{l} D_{1_x} = f_1(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}) \\ D_{1_y} = f_2(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}) \\ D_{2_x} = f_3(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}) \\ D_{2_y} = f_4(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}) \\ D_{3_x} = f_5(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}) \\ D_{3_y} = f_6(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}) \end{array} \right. \quad (7)$$

Однако каждое из уравнений системы (7) можно заменить соответствующим неравенством вида: $D_i - p < f_i(H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}) < D_i + p$, где p это максимальная допустимая погрешность прибора для которого осуществляется поиск геометрических параметров. Таким образом, система уравнений преобразуется в систему неравенств, решая которую числовыми методами, можно отыскать совокупность значений геометрических параметров $H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}$, которые удовлетворяют требуемой максимальной погрешности p прибора, при вычислении диаметра круглых объектов по выражениям (3-6).

Однако, учитывая сложность и громоздкость уравнений входящих в систему, а также количество неизвестных переменных в ней, даже на современных компьютерах задача поиска числовым методом значений удовлетворяющих системе очень трудоемка, занимает необычайно много времени даже на самой современной компьютерной технике. Поэтому этот метод поиска значений не приемлем для серийного выпуска приборов.

Для упрощения способа отыскания необходимых геометрических параметров мы попробовали оценить влияние каждого из них на конечный диаметр. Для этого мы поочередно строили зависимости расчётного диаметра для каждой из осей X и Y , от каждого из геометрических параметров $H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}$ при этом остальные параметры принимали равными конструктивным. Влияние последней тройки параметров на конечный результат на два порядка слабее, чем первой. Это даёт нам возможность принять их значения равными конструктивным и в дальнейшем считать известными величинами. При анализе влияния геометрических параметров на расчётный диаметр по оси Y получилась зеркальная ситуация, т. е. там за константы можно принять параметры H_{x0}, H_x, B_{y0} . Таким образом диаметр по оси X является функцией параметров H_{x0}, H_x, B_{y0} , а диаметр по оси Y функцией параметров H_{y0}, H_y, B_{x0} . Так как диаметры по разным осям зависят от разных геометрических параметров, то системы неравенств для вычисления этих параметров можно решать независимо для каждой из координат. Исходя из этого систему уравнений (5) возможно упростить и записать следующим образом в виде двух независимых систем неравенств для каждой из измерительных осей:

$$\text{Для координаты } X: \{ Dx_i - p \leq f_i(H_{x0}, H_x, B_{y0}) \leq Dx_i + p \}. \quad (8)$$

$$\text{Для координаты } Y: \{ Dy_i - p \leq f_i(H_{y0}, H_y, B_{x0}) \leq Dy_i + p \}, \quad (9)$$

где $i=1-3$ для обеих систем.

Такое допущение существенно, на три порядка, сокращает объём необходимых вычислений и упрощает систему (7), а соответственно и задачу по поиску числовыми методами геометрических параметров при которых погрешность p измерения прибора меньше максимально допустимой. В работе [2] наряду с точным решением предложено упрощенное, где в результате некоторых допущений в выражениях для расчета диаметра по оси X и Y исчезают соответственно параметры H_y, B_{x0} и H_x, B_{y0} , так же как и в нашем случае, что косвенно свидетельствует о верности подхода к решению поставленной задачи.

Так как системы уравнений (8,9) также как и система (7) не имеют аналитического решения, то для нахождения искомых значений воспользуемся методом подбора искомых значений с последовательным приближением к наиболее точному решению. Для

автоматизации процесса расчёты производятся на персональном компьютере с использованием программы специально написанной для этой цели. Алгоритм работы этой программы следующий: В первом приближении программа перебирает значения искомым геометрических параметров с шагом 1 мм и подставляет их поочерёдно в системы уравнений для первой и второй координат. Область предполагаемых значений геометрических параметров приблизительно известна с точностью до 1 сантиметра, поэтому диапазон изменения для каждого из параметров берём равным 10 мм. Всего в первом приближении получается 1000 вариантов сочетаний параметров для каждой измерительной оси. При переборе всех возможных вариантов оцениваются значения ΔD_1 , ΔD_2 , ΔD_3 , взятые по модулю, которые находятся как разность соответствующих эталонных калибров и значений, вычисленных программой при переборе, при этом ищется такое сочетание параметров, при котором все три значения ΔD_1 , ΔD_2 , ΔD_3 одновременно минимальны. Таким образом, после окончания перебора в первой итерации мы имеем значения геометрических параметров, определённых с точностью до одного мм, давшие наименьшую погрешность во всём диапазоне измеряемых диаметров. Однако при этих значениях погрешность ΔD_1 , ΔD_2 , ΔD_3 всё равно ещё не соответствует требуемой, поэтому производится еще несколько (обычно 2-3) переборов по аналогичному алгоритму, но с последовательным сужением диапазона поиска в 10 раз и с таким же уменьшением шага изменения искомым величин.

Такой механизм позволяет с точностью до 1 мкм определять геометрические параметры конкретного измерительного прибора. Использование полученных таким способом значений $H_{x0}, H_{y0}, H_x, H_y, B_{x0}, B_{y0}$ при вычислении диаметра с применением выражений (3-6), с учётом упрощений (8,9), позволяет достичь требуемой погрешности (10-15 мкм) измерительных приборов, использующих теневой метод измерения в расходящемся световом потоке [7,8], и обеспечить их высокие метрологические характеристики.

Заключение

В работе рассмотрен метод измерения диаметра, позволяющий с высокой достоверностью разрешать дифракционную картину и находить положения экстремумов дифракционных полос. Получено выражение, позволяющее вычислять точное положение геометрической границы тени объекта, не прибегая к амплитудному анализу фронта его изображения. Использование полученных значений параметров прибора при вычислении диаметра позволяет достичь требуемой погрешности (1...5 мкм) для серийных измерительных приборов и обеспечить их высокие эксплуатационные и метрологические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов Д.Н., Свендровский А.Р., Гольцеймер А.А., Гладышев Ю.Г. Опыт разработки устройства бесконтактного измерения диаметра кабельных изделий // Электротехника. – 1991. – № 3. – С. 26–28.
2. Sommerfeld A., Optics (German edition 1950, English translation: Academic Press, 1964), sec 37, 38.
3. Born and E. Wolf, Principles of Optics, 3rd Edition Pergamon Press, 1965.
4. Toenshoff, H. K., Tuennermann, A., Korthals, J., SPIE, Use of Fresnel diffraction for the measurement of rotational symmetrical workpieces. Proceedings SPIE The International Society For Optical Engineering, 3784, 1999, Pp. 334-343.
5. Chi-Tang Li, James V. Tietz, Improved accuracy of the laser diffraction technique for diameter measurement of small fibres. Journal of Materials Science, 1990, Volume 25, Issue 11, Pp. 4694-4698.
6. Свендровский А.Р. Расчёт диаметра в бесконтактных двухкоординатных измерителях // Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения: Тез. докл. I Всеросс. конф. – Томск, 2005. – С. 31–33.
7. Yury A. Chursin, Evgeny M. Fedorov "Methods of resolution enhancement of laser diameter measuring instruments"//Optics & Laser Technology, 2015. – Volume 67. – pp. 86-92.

8. Фёдоров Е.М., Эдличко А.А. Вычисление геометрических параметров двухкоординатных измерителей диаметра протяженных изделий // Известия Томского Политехнического Университета. – 2008 г. – Т. 313 – №2 – С. 87–93.

Сведения об авторах:

Мыктыбаев Н. Е.: г.Томск, магистрант, Томский политехнический университет

Федоров Е. М. : г. Томск, к.т.н. доцент, Томский политехнический университет

УДК 620.192.63

**ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ИЗДЕЛИЯ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ДЕФЕКТА ПРИ АКТИВНОМ ТЕПЛОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ
(INFLUENCE OF THICKNESS OF THE PRODUCT ON DETERMINATION OF DEPTH OF DEFECT AT ACTIVE THERMAL NONDESTRUCTIVE CONTROL)**

А. А. Разумова, В. В. Ширяев
A. A. Razumova, V.V. Shiryaev

Томский политехнический университет
Razumova_aa@mail.ru

В данной работе представлены результаты опыта по определению влияния толщины изделия на определение глубины дефекта при активном тепловом контроле. Были получены термограммы и графики, на которых наглядно представлен эксперимент. Теоретическое исследование было проведено в программе ThermCalc2D, а экспериментальные данные были обработаны в программе ThermFit Pro. (In this work results of experiment by definition of influence of thickness of a product on determination of depth of defect at active thermal control are presented. Thermograms and schedules on which experiment is visually presented were received. Theoretical research was carried out in the ThermCalc2D program, and experimental data were processed in the ThermFit Pro program.)

Ключевые слова:

Тепловая дефектоскопия, активный тепловой метод неразрушающего контроля, инфракрасная термография, термограмма, температурный сигнал, дефект.
(Thermal inspection, active thermal method of nondestructive control, infrared thermography, thermogram, temperature signal, defect)

Введение

Дефектоскопия - это область знаний, охватывающая теорию, методы и технические средства определения дефектов в материале контролируемых объектов, в частности в материале деталей машин и элементов металлоконструкций. [1] Средства неразрушающего контроля предназначены для обнаружения дефектов типа несплошности материала, оценки физико-химических свойств материала и измерения геометрических параметров деталей. [2]

Согласно ГОСТ 18353 [3] методы неразрушающего контроля классифицируют по следующим видам: акустические, магнитные, проникающими веществами, оптические, радиоволновые, радиационные, электрические, электромагнитные, а также тепловые методы.

Тепловые методы контроля подразделяются на активные и пассивные.

Активный метод теплового неразрушающего контроля (АТНК) применяется, когда объект контроля во время эксплуатации не выделяет тепловое излучение, которого было бы достаточно для проведения теплового контроля. Проводя диагностику данным методом, производят нагрев/охлаждение объекта, передачу его тепловой энергии специальными внешними источниками тепла для создания тепловых потоков внутри изделия. При АТНК используют следующие приборы: измерители тепло- и теплопроводности, тепловизоры, контактные термометры, а также различного вида устройства нагрева или охлаждения. [4] АТНК обычно контролируют такие объекты, как многослойные композитные материалы, объекты искусства и другие объекты. Также этот метод находит применение и в авиакосмической индустрии, инфракрасной влагометрии, энергетике, микроэлектронике, машиностроении, нефтехимии, строительстве и др.

Пассивный метод теплового контроля проводится без воздействия на объект извне, тепловое поле в объекте контроля возникает при его эксплуатации или изготовлении. Преимуществом этого метода является контроль изделия без его вывода из эксплуатации или без дополнительного нагревания объекта. Приборами, с помощью которых можно провести пассивный тепловой контроль, являются тепловизоры, пирометры, инфракрасные термометры, логгеры данных температуры, измерители тепловых потоков. Данный метод является наиболее

распространенным методом теплового контроля и имеет достаточно широкое применение в различных областях, например, машиностроении, энергетике, нефтехимии, строительстве, медицине, металлургии, транспорте. [4]

Тепловая дефектоскопия основана на зависимости температуры поверхности тела во времени от неоднородности структуры тела, наличия дефектов. Благодаря температурному фактору тепловую дефектоскопию можно применять для контроля качества изделий, температура которых во время работы изменяется. [5] Данный метод контроля осуществляются сканированием поверхности (то есть регистрацией ИК излучения поверхности ОК в одном направлении). Приёмниками излучения обычно являются не охлаждаемые болометры, пироэлектрики, охлаждаемые фотоприемники. Чувствительность современной аппаратуры (тепловизоры) позволяет зарегистрировать разность температур на поверхности контролируемой детали менее 0,05°C. [2]

Следует заметить, что высокая чувствительность аппаратуры для регистрации тепловых полей, таких, как тепловизоры, пирометры и др. не имеет особого значения в производственных условиях, так как уровни тепловых шумов, вызванных изменением условий теплообмена с окружающей средой, неравномерностью коэффициента излучения поверхностей объектов контроля, степенью загрязнённости этих же поверхностей имеют величины в пределах 0,3 – 0,6 °C. [6]

Теоретический раздел

Для проведения теоретических расчетов в качестве программного обеспечения были использованы программа ThermoCalc2D.

Теоретическая модель исследования – цилиндр, которая исследуется программой ThermoCalc2D, показана на рисунке 1:

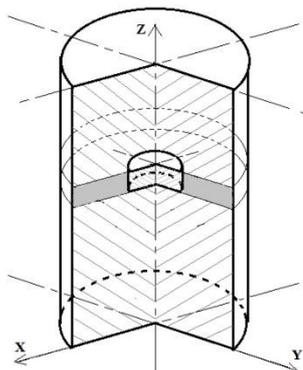


Рис. 1. Теоретическая модель исследования

С помощью программы ThermoCalc2D были рассчитаны следующие данные для стеклопластика (GFRP), из которого был изготовлен объект контроля, которые записаны в Таблице 1:

Таблица 1. «Характеристики температурного сигнала»

Толщина ОК d в указанных точках Ti (см. рис.5), мм	L=4, T1	L=6, T2	L=8, T3
Температурный сигнал dT, °C	0,067	0,065	0,056
Время появления максимума температуры сигнала t, с	18,225	18,525	18,699

По полученным данным были построены графики зависимости температуры от времени:

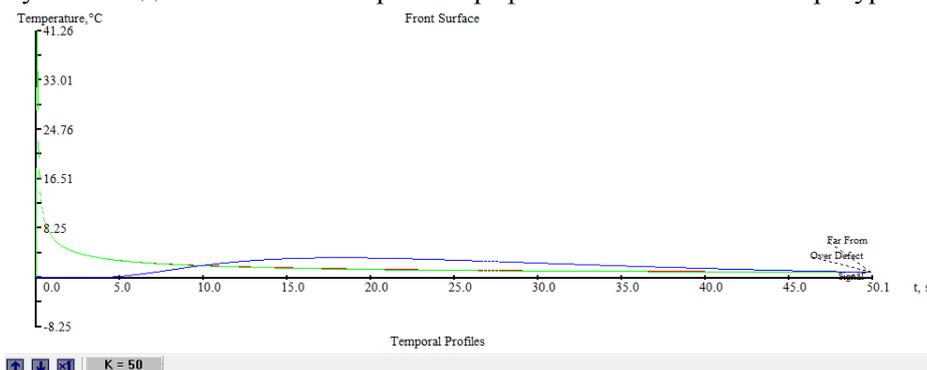


Рис. 2. GFRP при толщине изделия 4 мм

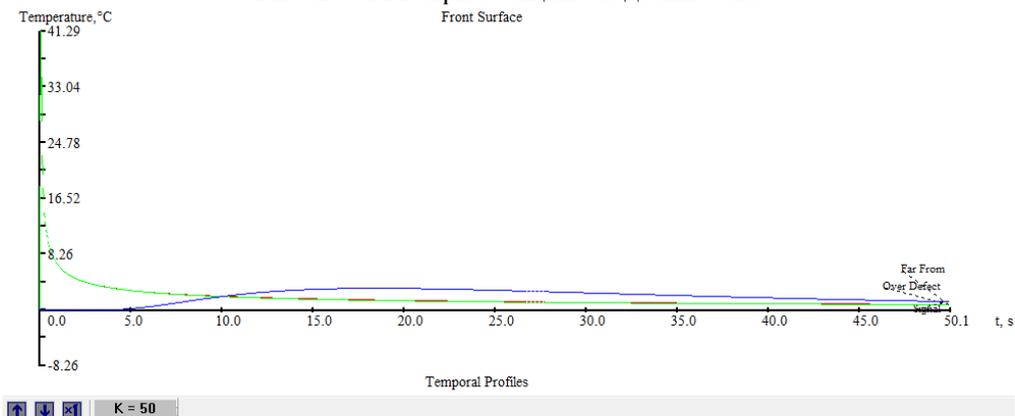


Рис. 3. GFRP при толщине изделия 6 мм

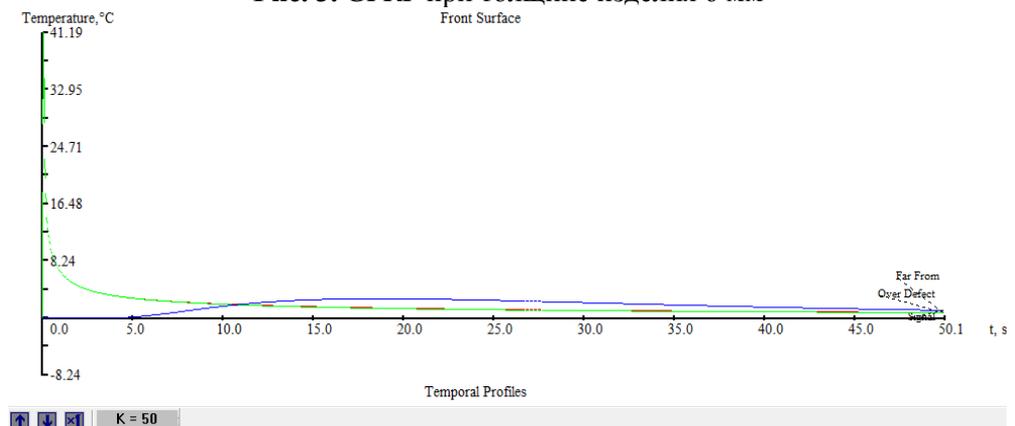


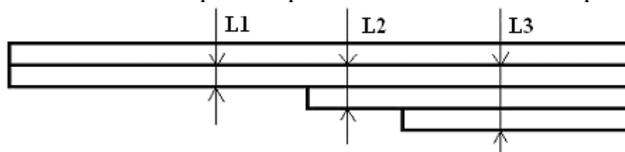
Рис. 4. GFRP при толщине изделия 8 мм

Данные графики показывают, что при таких толщинах объекта контроля (ОК) и геометрии дефекта в данном материале дефект сложно обнаружить, следовательно, толщина под дефектом практически не влияет. Кривая синего цвета на графиках показана в увеличенном масштабе, коэффициент увеличения 50.

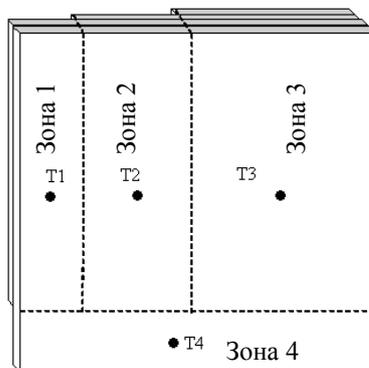
Так же проведены аналогичные расчеты для углепластика и резины.

Для проведения расчетов были взяты параметры образца из стеклопластика, изготовленного для проведения экспериментальных исследований (см. рис 8).

На рисунке 5 показан объект контроля и размещение точек измерения температур.



а)



б)

Рис. 5. Объект контроля а) Профиль ОК, б) Размещение точек измерения температур

Таблица 2. «Значения температуры в бездефектной области ОК»

	T1', °C,	T2', °C,	T3', °C,	T4', °C,
Стеклопластик	41,37	41,29	41,19	41,41

Таблица 3. «Значения температуры в дефектной области ОК»

	T1, °C,	T2, °C,	T3, °C,	T4, °C,
Стеклопластик	41,26	41,29	41,19	41,41

Таблица 4. «Контраст ОК»

	C ₀ (T1)	C ₀ (T2)	C ₀ (T3)
Стеклопластик	0,0036	0,0029	0,0053

Расчет контраста проводился по следующей формуле:

$$C_0 = \frac{T4 - T_i}{T4}$$

Таблица 5. «Контраст ОК относительно добавления толщины»

	C _{0'} (T1)	C _{0'} (T2)	C _{0'} (T3)
Стеклопластик	0,00097	0,0029	0,0053

Расчет контраста проводился по следующей формуле:

$$C_0' = \frac{T4 - T_i'}{T4}$$

Таблица 6. «Контраст ОК – влияние толщины материала под дефектом»

	C' (T1)	C' (T2)	C' (T3)
Стеклопластик	0,0027	0	0

Расчет контраста проводился по следующей формуле:

$$C' = \frac{T_i' - T_i}{T_i'}$$

Таблица 7. «Зависимость температурного сигнала от толщины материала под дефектом»

	T1, °C; L1 = 2 мм	T2, °C; L2 = 4 мм	T3, °C; L3 = 6 мм
Стеклопластик	0,067	0,065	0,056
Углепластик	0,289	0,281	0,259
Резина	0,114	0,109	0,1003

Из данных таблицы 6 следует, что влияние температурного сигнала в зависимости от толщины материала проявляется достаточно слабо для приведенных материалов.

Результаты теоретических исследований показывают, что для материалов с низкой теплопроводностью (< 0,1 Вт/м·К, в частности, резина) величины температурных сигналов над дефектом в зависимости от толщины материала под дефектом практически неразличимы. Для материалов с теплопроводностью от 0,1 до 10 Вт/м·К температурный сигнал имеет слабую зависимость от толщины материала под дефектом.

Эксперимент. Односторонний контроль образца

Для проведения опыта, чтобы изучить зависимость глубины залегания дефекта от толщины изделия, была собрана экспериментальная установка:

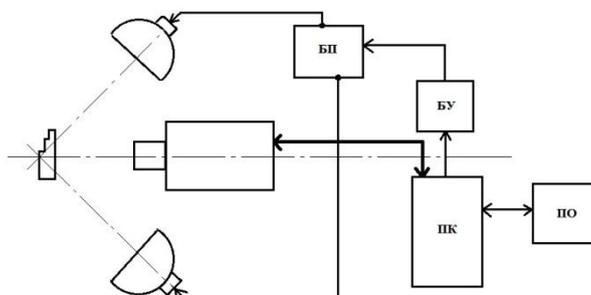


Рис. 6. Схема установки,

где БП – блок питания, БУ – блок управления, ПК – персональный компьютер, ПО – программное обеспечение, лампа - вспышка QUA DX и исследуемая модель.



Рис. 7. Реальная установка (Вид спереди): 1 – БУ, 2 – ПК, 3 – БП, 4 – экран, 5 – тепловизор, 6 – лампа - вспышка QUA DX, 7 – объект контроля.

На рисунке 8 показан ОК с указанием размеров:

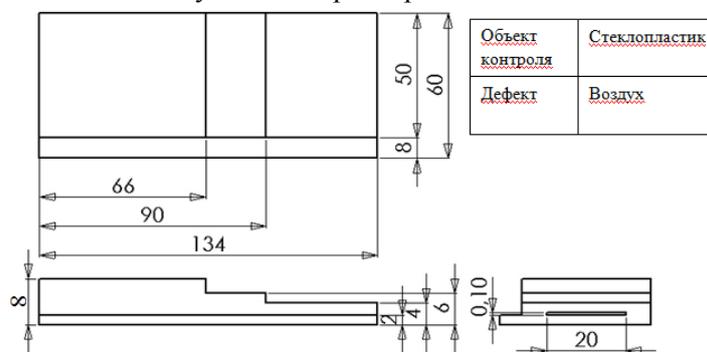


Рис. 8. Чертеж детали с указанием размеров

Для записи и обработки термограмм были использованы программа ThermoFit Pro и программа управления цифровым тепловизором NEC.

Таблица 8. «Объект контроля с черным покрытием в один слой»

Толщина ОК L в указанных точках T_i (см. рис.5), мм	L=4, T1	L=6, T2	L=8, T3
Температурный сигнал dT, °C	0,09	0,41	-0,04

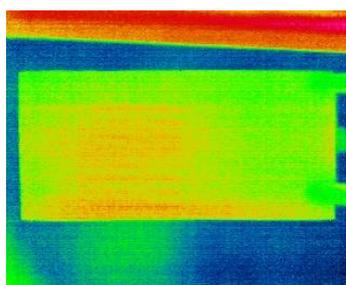


Рис. 9. Термограмма ОК

Таблица 9. «Объект контроля с черным покрытием в два слоя»

Толщина ОК L в указанных точках T_i (см. рис.5), мм	L=4, T1	L=6, T2	L=8, T3
Температурный сигнал dT, °C	1,3	1,63	1,45

Термограмма объекта контроля, по которой с помощью программы ThermoFit Pro были определены температурные сигналы:

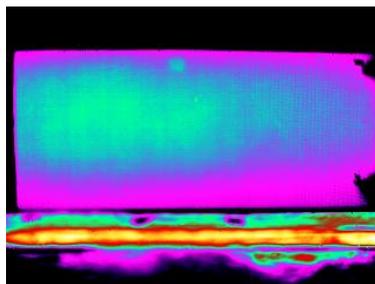


Рис. 10. Термограмма ОК в конце процесса нагрева, термограмма № 3

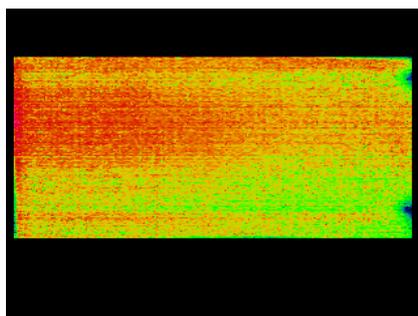


Рис. 11. Распределение температуры по образцу.
Односторонний контроль, термограмма № 80

Значения температурных сигналов, полученные в эксперименте для данного покрытия различных толщин, показывают, что покрытие в один слой является тонким и прозрачным для оптического излучения лампы-вспышки, что приводит к тому, что поверхность ОК влияет на сигнал. Чтобы устранить это влияние поверхности ОК, необходимо сделать покрытие краской не менее чем в два слоя, однако более толстым слой покрытия делать нежелательно, т.к. он начнет влиять на температурный сигнал.

Так как поверхность ОК имеет неравномерность коэффициента излучения, то необходимо этот коэффициент сделать однородным, то есть покрыть поверхность ОК краской с коэффициентом излучения $\epsilon = 0,9 - 0,99$. В данном случае применили чёрную алкидную эмаль с $\epsilon \approx 0,96$.

Рассмотрим более подробно изменение температурного сигнала в точках T0-T4. На рисунке 12 представлен график данного изменения.

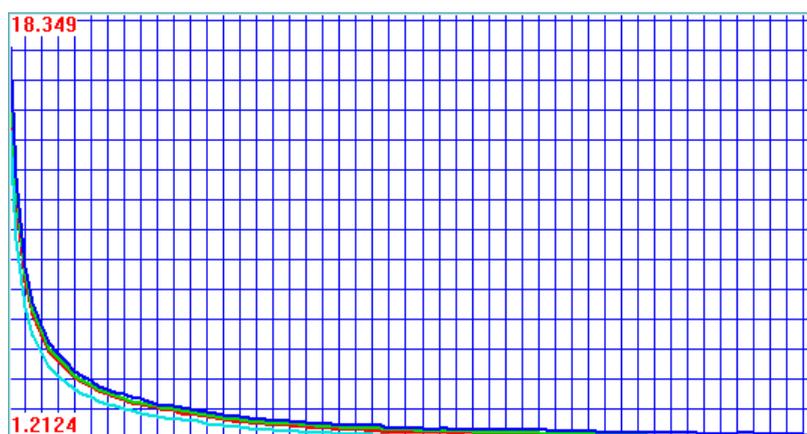


Рис. 12. Изменение температуры в точках T1-T4

Из данного графика видно, что значения температуры в определенных точках отличаются незначительно. Что также показывает, что значение толщины материала за дефектом оказывает лишь слабое влияние на сигнал.

Далее представлен график изменения контраста в точках T0-T4:

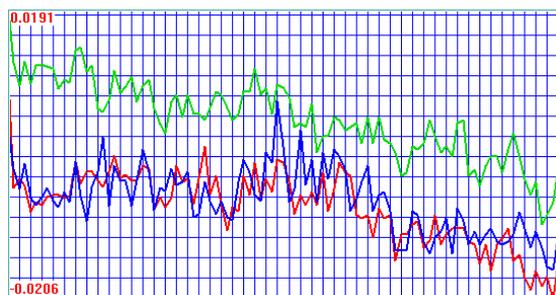


Рис. 13. Изменение контраста в точках T1-T3

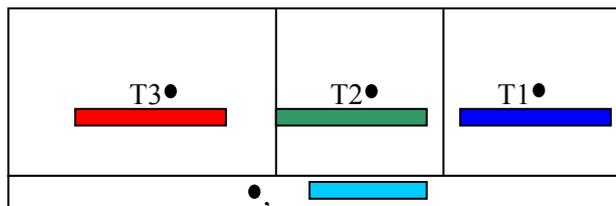


Рис. 14. Диаграмма соответствия цветов, выбранных точек и кривых

Данный график показывает, что изменение сигнала и его разброс сравним с уровнем шума. В таблице 10 показаны данные, которые были получены в определенных точках на поверхности (см. рис. 5,6 и 14) объекта контроля.

Таблица 10. «Данные в точках T0-T4»

	T0	T1	T2	T3
Температура, °С, 3 кадр	14,83	18,07	16,95	16,45
Температура, °С 80-ый кадр	1,3	1,63	1,45	1,27
Сигнал, °С, 3 кадр		3,24	2,12	1,62
Сигнал, °С, 80-ый кадр		0,33	0,15	-0,03
Контраст (3 кадр)		0,22	0,14	0,12
Контраст (80-ый кадр)		0,25	0,12	-0,02

Расчет контраста проводился по следующей формуле:

$$C = \frac{T_i' - T_i}{T_i'}$$

Для сравнения экспериментальная последовательность была обработана различными методами, были определены значения отношения сигнал/шум (SNR) и результаты сведены в таблицу 11, где T0, T1, T2, T3 – выше определенные точки измерения температуры на объекте исследований (см. рис.14).

Таблица 11. «Пример применения различных методов обработки термограмм»

SNR (сигнал/шум)	T1	T2	T3
Последовательность, без обработки, 3-й кадр	18,72	14,96	8,6
Последовательность, без обработки, 80-й кадр	2,81	1,59	0,84
Обработка корреляцией, сравнение со средним значением по кадру, 3-й кадр	0,84	1,33	0,97
Обработка корреляцией, сравнение со значением в T0, 3-й кадр	0,504	0,533	0,755
Метод главных компонент, 1-я компонента	9,1	7,42	4,21
Метод главных компонент, 2-я компонента	1,39	1,1	0,91
Применение вейвлет преобразования с вейвлетом MНat	0,63	1,62	1,51

По данным таблицы 10 можно сделать вывод о том, что формально данные методы не привели к улучшению качества информации, т.к. данные при интересующих температурах различаются не значительно, однако, визуально можно увидеть различия при разных толщинах материала. Так же видно, что SNR по 3-му кадру МГК все же дают информацию, о различии значений в необходимых областях ОК.

Более наглядно можно представить изображение заложенного дефекта в испытуемом образце с помощью программы ThermoFit Pro, позволяющей провести специальную обработку последовательности. Ниже представлены термограммы, которые были получены с помощью применения метода главных компонент и комплексного вейвлет-преобразования (мексиканская шляпа, сдвиг b=5, масштаб a=30 (из 99)):

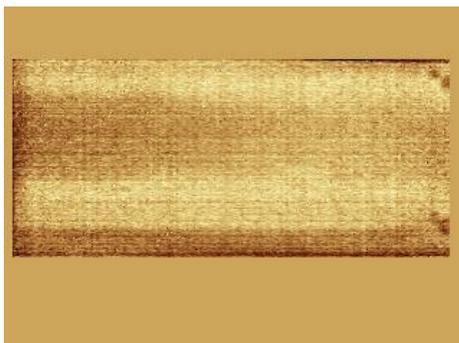


Рис. 15. Термограмма ОК: метод главных компонент (2 компонента)

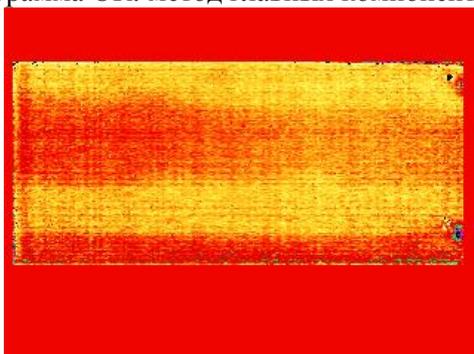


Рис. 16. Термограмма ОК: комплексное вейвлет-преобразование (мексиканская шляпа, $b=5$, $a=30$ (из 99))

С помощью метода корреляции со средней температурой, реализованного в программе ThermoFit Pro, показано качество склейки пластин. Так же этот метод позволяет увидеть четкие границы между дефектом и бездефектной областью ОК. Для исследования выбирались точки из *белой зоны*, где наименьшая неравномерность распределения температуры:

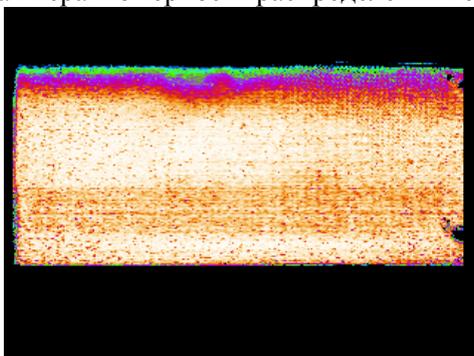


Рис. 17. Термограмма ОК с помощью корреляции со средней температурой

С помощью той же программы был построен график распределения температуры по пластине вдоль определенного сечения:

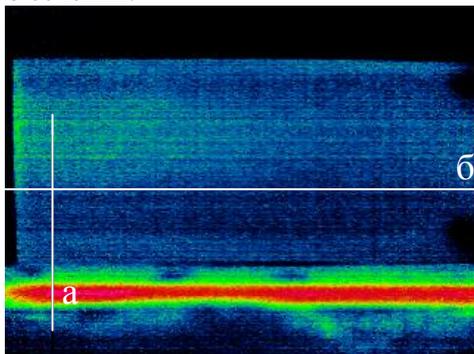
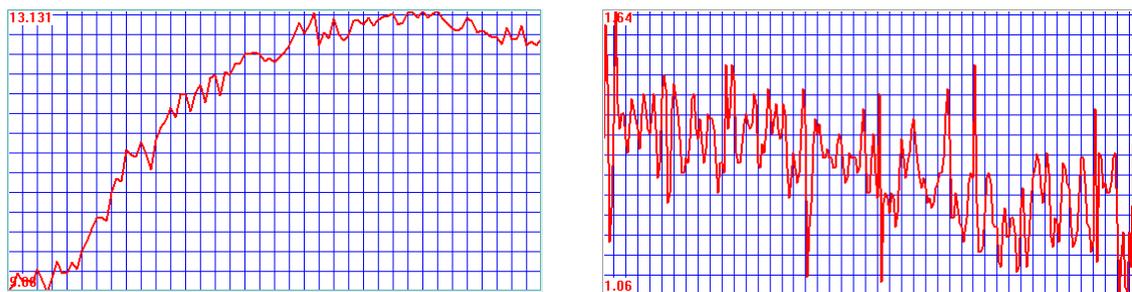


Рис. 18. Термограмма ОК



а) б)

Рис. 19. Графики распределения температуры по пластине вдоль сечения а) и б)

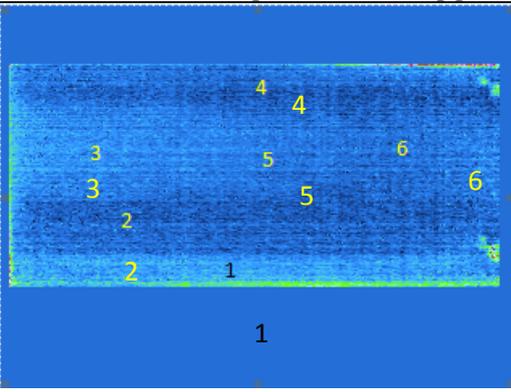
Данные графики показывают распространение шума в сигнале. С помощью черного покрытия влияние шума сведено практически к нулю, что подтверждается отношением сигнал-шум, который равен 2,81 (табл. 10, в точке Т1 для обычного изображения, 80-ый кадр).

Определение коэффициента температуропроводности данного образца

Для иллюстрации влияния изменения толщины материала под дефектом в исследуемом образце проведен эксперимент по определению его коэффициента температуропроводности. Нагрев и регистрация производились при одностороннем доступе к образцу. Нагрев производился лампой-вспышкой с энергией 3600 Дж, регистрация – тепловизором NEC со скоростью записи 100 мс на кадр.

Определение коэффициента температуропроводности образца производилось с помощью программы ThermoFit Pro, с использованием алгоритма Заламеда. [7]

Таблица 11. «Определение коэффициента температуропроводности»

 <p>Среднее квадратичное отклонение по точкам 3-5-6: $\sigma=0,063 \cdot 10^{-7}$</p> <p>Расчеты показывают, что отклонение коэффициента температуропроводности меньше 1,5%, следовательно, влиянием толщины материала под дефектом можно пренебречь при его определении.</p>	<p>Значения коэффициента температуропроводности</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>№ п/п</th> <th>$a, \text{ м}^2/\text{с}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>$1,43 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>$1,17 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>$1,56 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>$1,3 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>$1,43 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>$1,43 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> </tbody> </table>	№ п/п	$a, \text{ м}^2/\text{с}$	1	$1,43 \cdot 10^{-7}$	2	$1,17 \cdot 10^{-7}$	3	$1,56 \cdot 10^{-7}$	4	$1,3 \cdot 10^{-7}$	5	$1,43 \cdot 10^{-7}$	6	$1,43 \cdot 10^{-7}$
	№ п/п	$a, \text{ м}^2/\text{с}$													
1	$1,43 \cdot 10^{-7}$														
2	$1,17 \cdot 10^{-7}$														
3	$1,56 \cdot 10^{-7}$														
4	$1,3 \cdot 10^{-7}$														
5	$1,43 \cdot 10^{-7}$														
6	$1,43 \cdot 10^{-7}$														
<p>Дисперсия общая: $D=0,0015 \cdot 10^{-13}$</p> <p>Дисперсия по точкам 3-5-6: $D=0,0004 \cdot 10^{-13}$</p>															

Двусторонний контроль образца

Рассмотрим двусторонний контроль. С помощью данного метода было получено изображение, на котором четко видны границы участков различной толщины, что показано на рисунке 20.

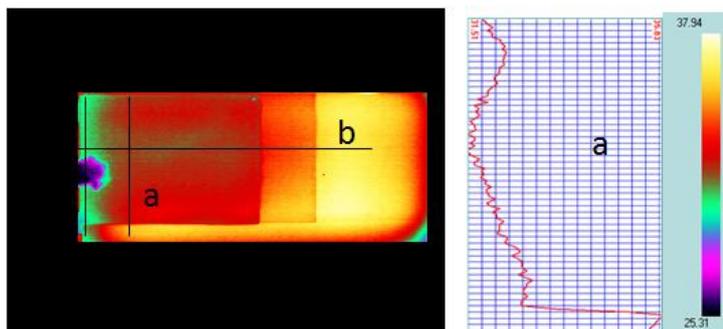


Рис. 20. Двусторонний контроль

Графики распределения температуры по выделенным линиям показывают связь распределения с изменением толщины образца и с наличием дефекта. При двустороннем контроле заметна разница в данных в зависимости от толщины образца и наличия дефекта.

Заключение

По полученным данным можно сделать следующие выводы о том, что экспериментальные и теоретические данные практически совпадают. Представленные данные несколько различаются по абсолютным значениям, что связано с тем, что неизвестна точная мощность ламп-вспышек и данный параметр в программах ThermoFit Pro и ThermoCalc2D стоит заданным по умолчанию. Данный эксперимент показывает, что изменение толщины ОК за дефектом при данных условиях практически не влияет на результаты. Однако следует иметь в виду, что при измерительных процедурах необходимо знать значение глубины залегания дефекта. Если же глубина залегания дефекта не будет иметь значения, то будет получена обычная дефектограмма. Так же следует отметить, что используя метод главных компонент и комплексного вейвлет-преобразования (мексиканская шляпа) можно получить лишь распределение некоторых величин, но не информацию о глубине залегания дефекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виды и методы дефектоскопии. Классификация. Ультразвуковой, магнитный, вихретоковый, капиллярный методы дефектоскопии // [Электронный ресурс]. – URL: <http://gosnik.postach.io/60-vidy-i-metody-defektoskopii-klassifikatsiia-ultrazvukovoi-magnitnyi-vikhretokovy-i-kapilliarnyi-metody-defektoskopii> (дата обращения 05.01.2015)
2. Юношев М. А. ДЕФЕКТОСКОПИЯ // [Электронный ресурс]. Юношев М. А. Забурненко Е. В. (руководитель). – 2014. – URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/pdf/6822.pdf> (дата обращения 05.01.2015)
3. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – Взамен ГОСТ 18353-73; введ. 1980-07-01. – СССР.: Межгосударственный стандарт, 2010. – 29 с.
4. TECHNO-NDT // [Электронный ресурс] – URL: <http://t-ndt.ru/index.php?id=28> (дата обращения 10.02.2015)
5. Тепловая дефектоскопия // [Электронный ресурс]. – URL: http://specural.com/view_machine.php?id=6448 (дата обращения 05.01.2015)
6. Инфракрасная термография и тепловой контроль: научное издание/ Вавилов В. П.; редактор Клейзер В. П. – Москва: ИД Спектр, 2013. – 27, 91-93, 179 с.
7. Joseph N. Zalameda and William P. Winfreeb. Improved Sampling of Thermal Transients using Focal Plane Array Infrared Imagers // Thermosense XXVI, Proc. of SPIE Vol. 5405, pp 374-381

Сведения об авторах:

Разумова А. А.: студент Томского Политехнического университета, сфера научных интересов – активный тепловой неразрушающий контроль.

Ширяев В. В.: к.т.н., доцент кафедры Информационно-измерительной техники Томского Политехнического университета, сфера научных интересов – активный тепловой неразрушающий контроль.

УДК 621.315.3 37.4

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ КОРОНОСТОЙКОСТИ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Д.В. Вторушин
D.V. Vtorushin

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: stariy2777@mail.ru

В последние годы резко снизился срок службы изоляции обмоток, а также изоляции питающих кабелей. Это обуславливается использование системы частотного управления на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ) сопровождается существенным недостатком – негативным влиянием на электрическую изоляцию. Вследствие этого возникает актуальная проблема: обеспечение надежности и средствах испытаний изоляции электрической изоляции при действии эксплуатационных нагрузок в системе частотно-регулируемого привода (ЧРП). В связи с особенностями конструкции, применяемых материалов можно выделить два аспекта в данной проблеме: надежность изоляции обмотки (в первую очередь межвитковой изоляции – как самого слабого элемента обмотки) и надежность изоляции силовых кабелей.

На данный момент имеется ряд методов, нормированных различными ГОСТ, техническими условиями, позволяющих оценить уровень основных электрических и механических свойств эмалевого изоляции обмоточных проводов, но не учитываются особенности работы обмоток при частотном управлении. Установлено: применение широтно-импульсной модуляции резко ужесточает уровень электрических нагрузок (величины перенапряжений действуют с частотой до 10⁴ с и могут в 10 раз превышать значение питающего напряжения), вызывая в обмотке появление коронных разрядов [1, 2]. В результате происходит быстрое старение изоляции, что сказывается на снижении надежности и срока службы электрической машины. [3]

Существуют работы по проведению комплексных исследований электрических и механических свойств ряда широко применяющихся марок обмоточных проводов существующими стандартными методами. Механические свойства оценивались по испытаниям на истирание иглой, процарапыванием с постоянно увеличивающейся нагрузкой, а также путем определения дефектности изоляции провода в состоянии поставки и после навивания на металлический стержень. Так же было определено пробивное напряжение эмалевого изоляции в состоянии поставки и после навивания на металлический стержень, равный двойному диаметру провода. Полученные результаты свидетельствуют об удовлетворительном качестве всех испытываемых образцов. [4]

В современной отечественной практике недостаточно рекомендаций по определению стойкости эмалированных проводов к коронным разрядам, что и определило применение оригинальных методик для исследования данного вопроса. За основу идеи было взято - помещение образца в среду действия коронных (поверхностных) разрядов, образующихся под действием электрического поля высокой напряженности. Испытания одной партии проводились в системах электродов «провод-дробь» и «провод-пластина» (испытательное напряжение от 4 до 5 кВ промышленной частоты при комнатной температуре); другой – воздействием высокочастотного модулированного сигнала при температуре класса нагревостойкости. В первом случае образцом служил одиночный отрезок провода, во втором – стандартная скрутка. Критерий короностойкости - среднее время до пробоя партии образцов (не менее 10).

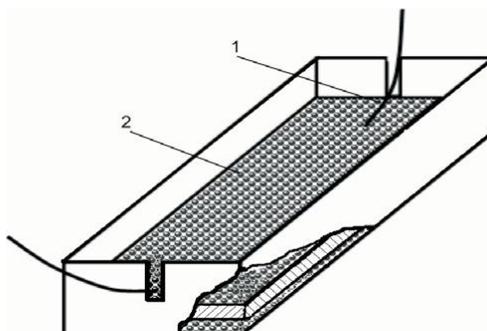


Рис.1. Схема для проведения испытаний на короностойкость:
1 – ванна; 2 – стальная дробь; 3 – образец провода; 4 – металлический электрод

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1. Почти все приведенные образцы эмалированных проводов, предназначенных для использования в обмотках частотно-регулируемого привода, прошли стандартные испытания на уровень электрических и механических свойств. Так же их необходимо испытывать на стойкость к действию коронных разрядов. В то же время это не гарантирует необходимую стойкость эмалированной изоляции к ужесточенным электрическим нагрузкам, обусловленным особенностями действия ШИМ. Обязательным условием обеспечения необходимого уровня надежности является использование короностойких обмоточных проводов (например провод ПЭТД2-К-180).

2. Определение способности эмали провода длительно эксплуатироваться в условиях частотного управления возможно после испытаний высокочастотными электрическими импульсами. В этом случае на образец воздействует комплекс нагрузок, соответствующий условиям эксплуатации: температура, электрические перенапряжения, коронные разряды. Испытания в системах «электродов провод-дробь», «провод-пластина», как более простые, позволяют сделать лишь предварительную оценку стойкости эмалированной изоляции к действию высокого напряжения.

3. Существует необходимость в разработке нормативной базы для определения короностойкости эмалированных обмоточных проводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fenger, M., Campbell, S.R., Pedersen, J. Motor winding problems caused by inverter drives // Industry Applications Magazine, IEEE, July-Aug. 2003, pages (22- 31).
2. Коробцов А.А., Леонов А.П., Похолков Ю.П., Солдатенко Е.Ю., Кочетков И.А. «Применение эмалированных проводов в обмотках асинхронных двигателей с частотным управлением» // Кабели и провода, 2013. – № 3 (340).
3. N. Lahoud, J. Faucher, D. Malec, P. Maussion. Electrical Aging of the Insulation of Low Voltage Machines: Model definition and test with the Design of Experiments // IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 60, NO. 9, SEPTEMBER 2013

Сведения об авторах:

Вторушин Д.В.: студент кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета.

УДК 06.621.31

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИНИКОМПЬЮТЕРА BEAGLEBONE BLACK (MEASURING PARAMETERS OF THE SOLAR CELLS USING MINICOMPUTER BEAGLEBONE BLACK)

Янь Юйхао

Yan Yuhao

Научный руководитель: А.В. Юрченко, д.т.н., профессор

Research supervisor: A.V. Yurchenko, Ph.D., Professor

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Россия, г. Томск, ул. Вершинина, 33

E-mail: sxsmymm@gmail.com

В сегодняшний день нехватка энергии, загрязнение окружающей среды постепенно увеличивается, в такое ситуаций солнечная энергетика становится более актуальной для преодоления кризиса ресурсов. Поэтому улучшение методов измерения параметров солнечных элементов является ключевым фактором при исследований и производстве солнечных элементов. С развитием интернета вещей, одним из перспективных направлений развития измерительной техники является создание устройства измерения с помощью миникомпьютера.

(Nowadays, lack of energy and pollution are gradually increasing, in such situations, solar energy is becoming an important research topic to solve this problem. Therefore, improving the methods of measuring of solar cells is a keypoint in the research and manufacture of solar cells. Moreover, under the trend of the development Internet of Things (IoT), measuring using a minicomputer has a brightening future).

Ключевые слова:

Интернет вещей, встраиваемая система, электронная нагрузка.

Internet of things (IoT), embedded system, electronic load

Интернет вещей (Internet of things), это модное словосочетание является одним из самых популярных терминов в области ИТ, вещи обмениваются данными в связи с датчиками и интернетом друг друга, и все вещи под контролем людей через интернет. Очевидно, что умный дом и умный город становится реальным ненадолго. Это выдвинул новые требования к измерительным устройством, что люди могут контролировать и управлять многие вещи только в одном смартфоне.

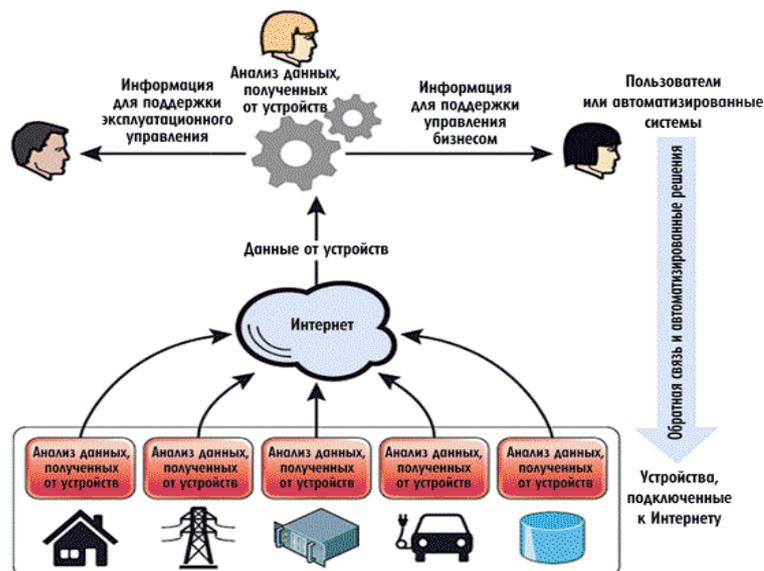


Рис. 1. Типовая архитектура IoT-приложений

Эта интеллектуальная информационная система реализованы с различными средствами измерений, микроконтроллер, персональный компьютер с платой сбора данных истраиваемая система (миникомпьютер). Полагаю, что универсальность системы измерения необходимо производить с применением миникомпьютера, а не микроконтроллера, потому что в миникомпьютере изменить программу измерения значительно легче, чем в микроконтроллере. Кроме того, на миникомпьютере может сразу произвести обработку и анализ данных. Персональный компьютер также уступает миникомпьютер, потому что последний, во-первых, меньше по объём, в виду чего значительно удобнее, а во-вторых, в десятки раз дешевле.

Бывают многие различные типы миникомпьютера, Beaglebone black является лучшим выбором, хотя он не самый дешевый, так как все основные инструменты интернета с Linux были возможны, можем использовать FTP, Telnet, SSH, даже веб-сервер, чтобы проще реализовать электронный проект через интернет и с открытым исходным кодом.

Таблица 1. Сравнение современных средств измерений

	Доступные операции	Достоинства	Недостатки
Микроконтроллер	Ассемблер, С	Низкая цена	Многоцелевая операция не умеет
Персональный компьютер	Labview, С С++	Универсальность, мощный	Высокая цена, расход энергии
Миникомпьютер (Beaglebone Black)	С, С++, Python, shell, и др.	Универсальность, маленький размер, мощный	Расход энергии

Обычно используются вольтамперную характеристику для измерения параметров СЭ (солнечного элемента) (Рис. 2.). Добавил электронную нагрузку RH на СЭ, Если СЭ замкнут накоротко (сопротивление нагрузки равно нулю), то избыточные, разделенные р-п переходом, сгенерированные носители заряда будут иметь возможность циркулировать через эту короткозамкнутую цепь, создавая максимально возможное значение тока - ток короткого замыкания $I_{кз}$. В этом случае никакого скопления избыточного заряда у р-п перехода не возникает. Потенциальный барьер будет иметь ту же высоту, что и при отсутствии оптического излучения. ФотоЭДС (фотоэлектродвижущая сила) будет равна нулю. Если цепь СЭ разомкнута (сопротивление нагрузки равно бесконечности), то все, разделенные р-п переходом, носители заряда скапливаются у р-п перехода и компенсируют потенциальный барьер, создавая фотоЭДС равное напряжению холостого хода $V_{хх}$. С управлением сопротивления электронной нагрузки с нуля до предела, вольтамперную характеристику СЭ получается.

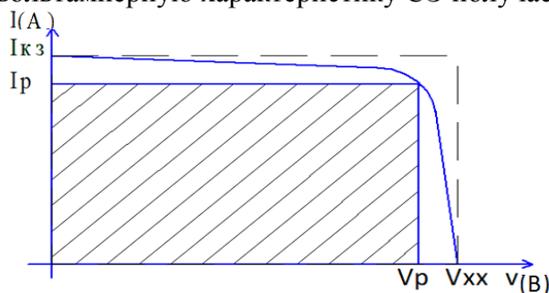


Рис. 2. Вольтамперная характеристика СЭ

Таким образом, измерение состоит из двух частей:

- Считывание значение напряжения и тока СЭ: Beaglebone black представляет 7 доступные разъемы АЦП, так как одновременно измерять несколько параметры возможен.
- Регулирование значение электронной нагрузки: впечатать программу с циклами, которая увеличить значение электронной нагрузки с нуля, когда значение тока СЭ менее 0.1 (значит цепь СЭ разомкнута), измерение завершено.

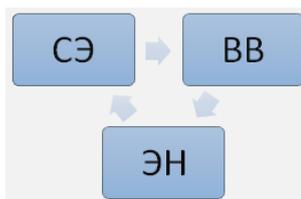


Рис. 3. Блок схема измерения параметров. (СЭ-солнечный элемент, ВВ-Beagleboneblack, ЭН-электронная нагрузка)

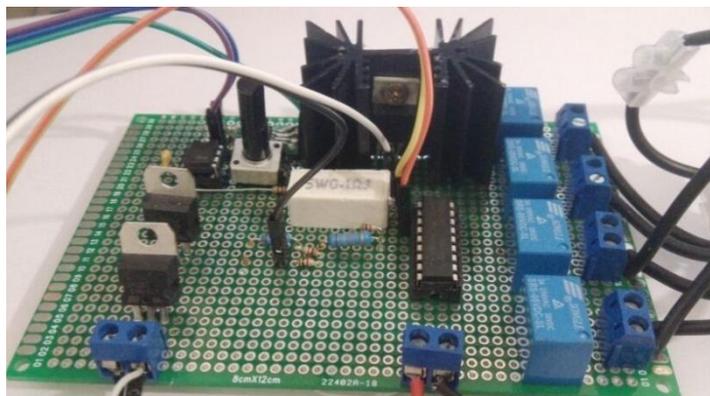


Рис. 4. Электронная нагрузка

После запуска готового программы, Beaglebone Black запишет данные тока и напряжения солнечного элемента при изменением нагрузки, с полученными данными построить вольтамперную характеристику и получить нужные параметры.

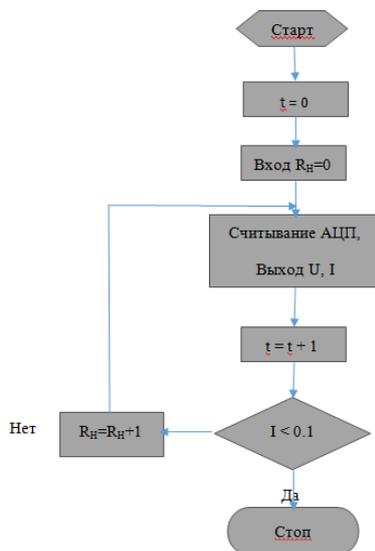


Рис. 5. Алгоритм программы измерения параметров

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. – Издательство «НАУКА», 1985 г. – 33 с.
2. MattRichardson. Getting Started With BeagleBone. – Maker Media, Inc. 2013. –3 с.

Сведения об авторе:

Янь Юйхао: г. Томск, магистр кафедры Информационно-измерительной техники по направлению “приборостроение”, ФГБОУ ВПО «Томский политехнический университет», сфера научных интересов лежит в области солнечной энергетики и встраиваемой системы.

УДК 621.3.014

**ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО
ДИАМЕТРА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ТРУБ
(EDDY CURRENT TRANSDUCER FOR MEASURING THE INTERNAL DIAMETER OF
ELECTRICALLY CONDUCTIVE PIPES)**

Чжун Ян
Zhong Yang

Научный руководитель: А.Е. Гольдштейн
scientific supervisor: A.E. Goldstein

Томский политехнический университет
E-mail: yan.tchzhun@yandex.ru

В данной работе рассмотрена актуальность разработки вихретокового преобразователя измерения внутреннего диаметра электропроводящих труб. Приведены конструкция накладного трансформаторного вихретокового преобразователя и его принцип действия. В соответствии с выбранной конструкцией накладного трансформаторного вихретокового преобразователя представлены расчет вносимого напряжения измерительной обмотки, расчет функции преобразования вносимого напряжения во внутренний диаметр трубы. Приведены результаты математического моделирования и экспериментов. Показано, что результаты расчета и эксперимента близки. Сделан вывод, что вихретоковый преобразователь работает с высокой точностью, его можно применять на практике и следует продолжать работать под данной темой в будущем.

(In this paper we considered the relevance of research the eddy current transducer for measuring the internal diameter of electrically conductive pipes. Show the construction of overhead transforming eddy current transducer with five windings and its measuring principle. According to the selected construction of the overhead transforming eddy current transducer, the functions by calculating the output voltage of the measuring windings and the function by calculating internal diameter of the pipes are presented. We showed the results of mathematical modeling and experiments. It is shown that the calculated and experimental results are close. It is concluded that the eddy current transducer operates with high accuracy and it can be applied in practice, and should continue study under this topic in the future.)

Ключевые слова:

Вихретоковый преобразователь, математическое моделирование, внутренний диаметр, электропроводящая труба, зазор, измерение, точность.

(Eddy current transducer, mathematical modeling, internal diameter, electrically conductive pipe, measurement, accuracy.)

Для обеспечения надежности при эксплуатации различных электропроводящих труб необходимо контролировать в процессе производства и эксплуатации различные параметры. При широком использовании электропроводящих труб в промышленности и в бытовой сфере возникает задача контроля внутреннего диаметра труб. Конкурентными преимуществами вихретокового метода по сравнению с альтернативными методами контроля являются отсутствие необходимости контакта с поверхностью трубы, высокая скорость контроля, широкий диапазон измеряемых диаметров труб, простота калибровки, малое влияние внешних факторов, отсутствие необходимости доступа к наружной поверхности трубы, возможность автоматизации процесса контроля и протоколирования его результатов [1]. Отсюда вытекает актуальность разработки вихретокового преобразователя для измерения внутреннего диаметра электропроводящих труб.

Для измерения внутреннего диаметра электропроводящих труб используется накладной трансформаторный вихретоковый преобразователь (НТВТП) (рис.1). Измерительное преобразование в полях вихревых токов основано на возбуждении в электропроводящих объектах переменным магнитным полем вихревых токов и зависимости параметров этих токов

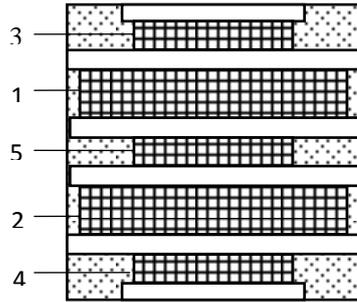


Рис.1. Конструкция накладного трансформаторного вихретокового преобразователя

от свойств объекта и, в частности, от расстояния (зазора) между поверхностью объекта контроля и НТВТП.

Переменным током, протекающим через последовательно соединенные и согласно включенные обмотки возбуждения 1 и 2, создается переменное магнитное поле, наводящее вихревые токи в поверхностном слое контролируемой трубы. Измерение индуцированных вихревых токов осуществляется с помощью измерительных обмоток 3 и 4. Обмотка 5 используется для компенсации начальных напряжений измерительных обмоток. Число витков обмотки 1 – w_1 равно числу витков обмотки 2 – w_2 , число витков обмотки 3 – w_3 равно числу витков обмотки 4 – w_4 , а соотношение чисел витков компенсационной и измерительных обмоток η должно обеспечивать равенство начальных напряжений этих обмоток [1].

Задача измерения внутреннего диаметра трубы, по сути, сводится к классической для вихретокового метода контроле задаче измерения зазоров между накладным ВТП и поверхностью электропроводящего объекта. Поэтому для создания модели взаимодействия магнитного поля ВТП с объектом контроля могут быть использованы известные математические выражения, приведенные в частности в [2]. При этом полагаем, что обмотки имеют бесконечно малое поперечное сечение, а глубина проникновения электромагнитного поля меньше толщины стенки трубы.

В данном случае измерение диаметра заключается в том, что измерительная обмотка 3 измеряет зазор h_1 между поверхностью трубы и одним торцом преобразователя, измерительная обмотка 4 измеряет зазор h_2 между поверхностью трубы и другим торцом преобразователя. В

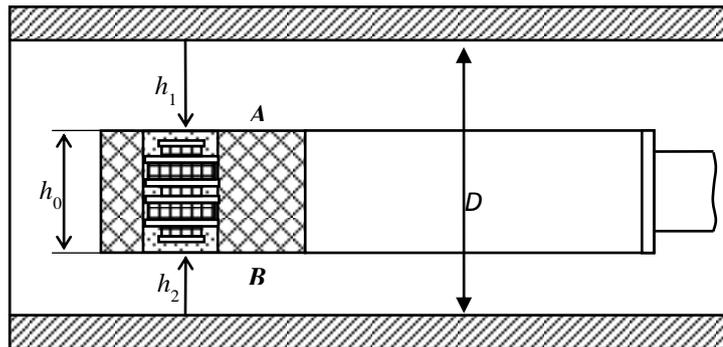


Рис. 2. Принцип измерения внутреннего диаметра трубы накладным трансформаторным вихретоковым преобразователем

конце суммируются измеряемые значения двух зазора и диаметр НТВТП h_0 для определения внутреннего диаметра трубы D . Принцип измерения НТВТП показан на рис. 2.

При математическом моделировании использованы НТВТП с диаметром 16мм и трубы с внутренними диаметрами 17мм, 18мм, 19мм, 20мм. Известно что комплексное вносимое напряжение двухобмоточного ВТП определяется выражением[2]:

$$\dot{U}_{ВН} = j\mu_0 W_B W_H \omega I R \pi \int_0^{\infty} \varphi_{OK} \cdot \exp(-xh^*) \cdot J_1(x \frac{R_B}{R_H}) \cdot J_1(x \frac{R_H}{R_B}) dx, \quad (1)$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная; $w_{\text{И}}, w_{\text{В}}$ – количество витков возбуждающей и измерительной обмоток; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота; f – частота возбуждающей обмотки; $R = \sqrt{R_{\text{В}}R_{\text{И}}}$ – эквивалентный радиус двух обмоток ВТП; $R_{\text{В}}, R_{\text{И}}$ – средние радиусы возбуждающей и измерительной обмоток; $h^* = (h_{\text{В}} + h_{\text{И}})/R$ – обобщенный параметр, характеризующее расстояние между центрами обмоток ВТП и поверхностью объекта контроля; $h_{\text{И}}, h_{\text{В}}$ – расстояния от центра соответствующих обмоток ВТП до внешней поверхности объекта контроля; J_1 – функция Бесселя первого рода первого порядка.

С использованием преобразованного выражения (1), при высокой частоте $f=150$ кГц, $\Phi_{\text{ок}}=1$, теоретически рассчитали для каждой измерительной обмотки вносимое напряжение от изменения зазора между НТВТП и внутренней поверхностью трубы выражениями [1]:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{ВН1}} &= \dot{U}_{\text{ВН31A}} + \dot{U}_{\text{ВН31B}} + \dot{U}_{\text{ВН32A}} + \dot{U}_{\text{ВН32B}} - \dot{U}_{\text{ВН51A}} - \dot{U}_{\text{ВН51B}} - \dot{U}_{\text{ВН52A}} - \dot{U}_{\text{ВН52B}}, \\ \dot{U}_{\text{ВН2}} &= \dot{U}_{\text{ВН41A}} + \dot{U}_{\text{ВН41B}} + \dot{U}_{\text{ВН42A}} + \dot{U}_{\text{ВН42B}} - \dot{U}_{\text{ВН51A}} - \dot{U}_{\text{ВН51B}} - \dot{U}_{\text{ВН52A}} - \dot{U}_{\text{ВН52B}}, \end{aligned} \quad (2)$$

При использовании выражений (2), получены результаты расчета вносимого напряжения в измерительных обмотках от изменения зазора при внутренних диаметрах труб равных 17мм, 18мм, 19мм, 20мм (рис.3).

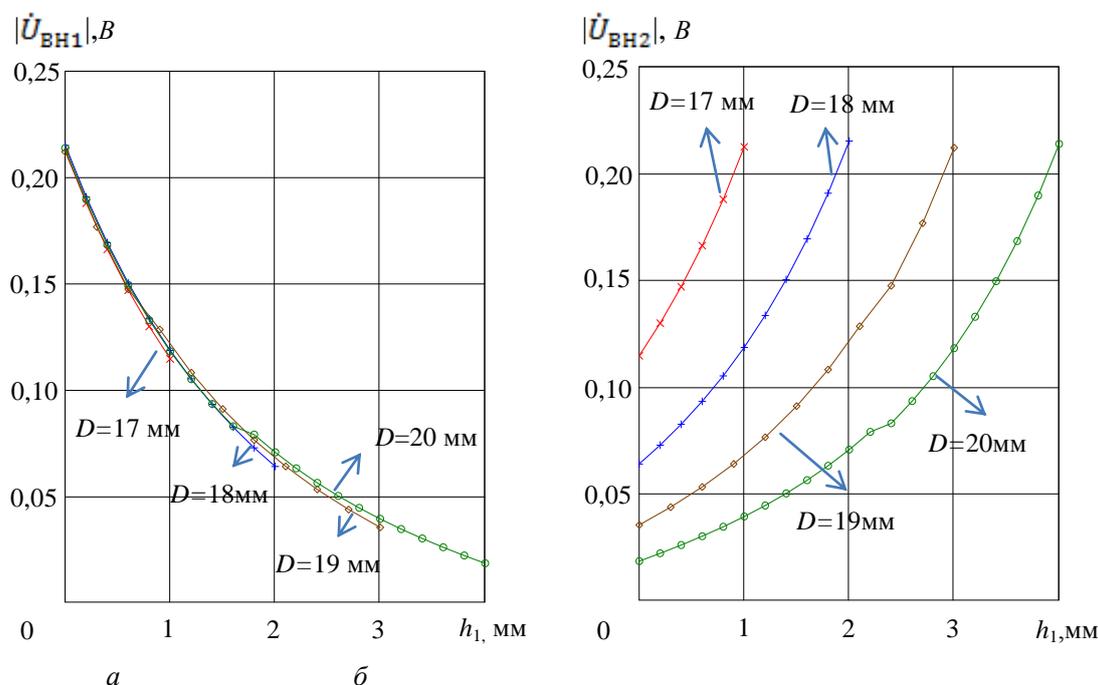


Рис. 3. Вносимые напряжения в:
 а – измерительной обмотке 3 от изменения зазора h_1
 б – измерительной обмотке 4 от изменения зазора h_1 .

Рис. 3а показывает результаты расчета вносимого напряжения в измерительной обмотке 3 от изменения зазора при диаметрах труб равных 17мм, 18мм, 19мм, 20мм. Рис. 3б показывает результаты расчета вносимого напряжения в измерительной обмотке 4 от изменения зазора при диаметрах труб равных 17мм, 18мм, 19мм, 20мм. Расчетные результаты были получены при допущении что изменение зазора начинается с торцом измерительной обмотки 3.

Нарис. 3а видно, что при измерении разных диаметров труб расчетные начальные вносимые напряжения в измерительной обмотке 3 от изменения зазора имеют одни и те же значения. Такие расчетные результаты получены при допущении, что кривизна внутренней поверхности трубы не является фактором влияния. На рис. 3б заметно, что зависимости результатов расчета от изменения зазора отличаются от зависимостей рис. 3а. На самом деле, из-за симметричности размещения измерительных обмоток, нетрудно заметить, что конечные результаты расчета в измерительной обмотке 4 от изменения зазора равны начальным результатам расчета от изменения зазора в измерительной обмотке 3.

Для расчета внутреннего диаметра труб осуществляется нормирование значений комплексных составляющих $\dot{U}_{ВН}$ по отношению к максимальному значению вносимого напряжения \dot{U}_m , соответствующему значениям расстояния $h_1 = 0$ и $h_2 = 0$ и функции влияния $|\varphi_{ОК}|=1$, что имеет место $\beta \rightarrow \infty$. Тогда относительное вносимое напряжение в измерительной обмотке определяется формулой:

$$\dot{U}_{ВН}^* = \dot{U}_{ВН} / \dot{U}_m \quad (3)$$

После нормировки, внутренние диаметры труб определяются с помощью выражения:

$$D = h_0 + K \cdot (\ln A_1 + \ln A_2) \quad (4)$$

где K – коэффициент, зависящий от свойств трубы; A_1, A_2 – соответствующие амплитуды относительного вносимого напряжения в измерительной обмотке $3\dot{U}_{ВН1}^*$ и в измерительной обмотке $4\dot{U}_{ВН2}^*$. Расчетные значения внутренних диаметров труб показаны на рис. 4. Результаты анализа приведены в таб. 1.

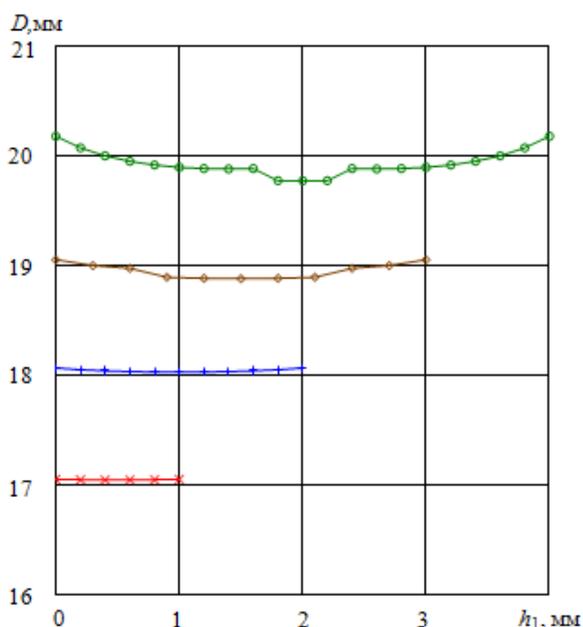


Рис. 4. Расчетные внутренних диаметров труб от изменения зазора h_1

Таблица 1. Результаты анализа моделированных значений внутренних диаметров труб.

Истинные значения D_x , мм	Общий зазор $(h_1 + h_2)$, мм	Расчетные значения D_x , мм	Максимальная абсолютная погрешность Δ , мм	Максимальная относительная погрешность, %
17	1	17,05	0,05	0,29
18	2	18,03...18,07	0,07	0,39
19	3	18,88...19,05	0,12	0,63
20	4	19,77...20,18	0,23	1,15

На рис. 4 видно, что расчетные значения внутренних диаметров труб отличаются от истинных. Это говорит о том, что использованные функции преобразования не могут идеально воспроизводить требуемую функцию преобразования. При анализе расчётных результатов в таб. 1, получается, что погрешность определения диаметра трубы с использованием выражений (1), (2), (3) и (4) увеличивается при возрастании внутреннего диаметра трубы при сохранении наружного диаметра НТВТП. Погрешность меньше при приближении диаметра преобразователя к внутреннему диаметру трубы.

В случае, если разность между диаметром трубы и диаметром НТВТП не превышает 3 мм, максимальная относительная погрешность не превышает 1%. Такие результаты показывают, что использованные выражения (1), (2), (3) и (4) обеспечивают достаточную точность определения внутреннего диаметра трубы и могут быть использованы для решения реальной задачи.

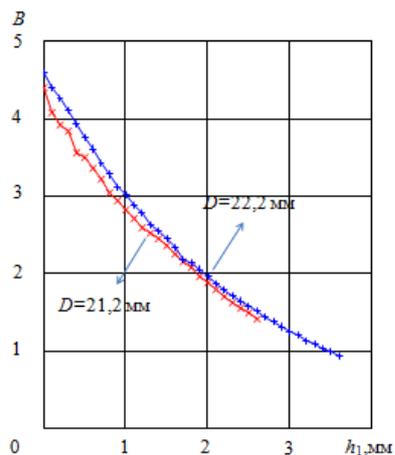


Рис. 5. Измеренные значения вносимых напряжений: в измерительной обмотке 3 от изменения зазора h_1

Далее была осуществлена экспериментальная проверка эффективности вихретокового метода измерения внутреннего диаметра труб с использованием описанного НТВТП.

В экспериментах проводились измерения внутреннего диаметра труб из нержавеющей аустенитной стали с номинальными внутренними диаметрами 21,2 мм и 22,2 мм и из ферромагнитной стали с номинальным внутренним диаметром 27,6 мм. Диаметр использованного НТВТП составлял 18,6 мм. Результаты экспериментов получены при использовании программного обеспечения LabView, а графики зависимостей были построены с помощью программы Mathcad.

В связи с тем, что результаты измерения вносимого напряжения в измерительной обмотке 4 имеют одни и те же значения в измерительной обмотке 3. На рис. 5 приведены только результаты измерения вносимого напряжения в измерительной обмотке 3 от изменения зазора для труб из нержавеющей аустенитной стали с номинальными внутренними диаметрами 21,2 мм и 22,2 мм. Видно, что результаты эксперимента близки результатам математического моделирования рис. 3. Но вносимые напряжения, соответствующие нулевым зазорам, по результатам эксперимента и математического моделирования отличаются. Это говорит о том, что кривизна внутренней поверхности трубы влияет на результаты измерения, и это следует учитывать при математическом моделировании.

После нормировки вносимого напряжения с помощью выражения (3), для определения внутренних диаметров труб, использовали выражение (4) и получили значения внутренних диаметров, показанные на рис. 6. Результаты анализа измерений приведены в таб. 2.

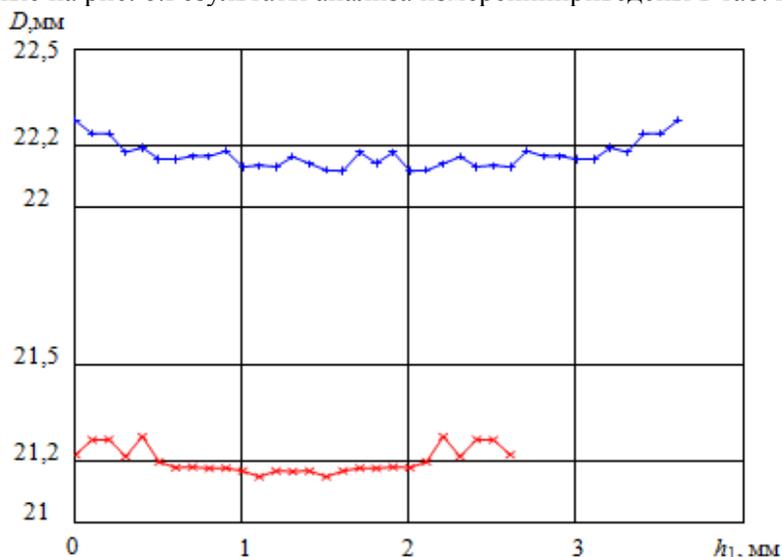


Рис. 6. Измеренные внутренние диаметры труб от изменения зазора h_1

Таблица 2. Результаты измерений внутренних диаметров труб из нержавеющей аустенитной стали.

Номинальные значения D , мм	Общий зазор $(h_1 + h_2)$, мм	Измеренные значения D_x , мм	Максимальная абсолютная погрешность Δ , мм	Максимальная относительная погрешность, %
21,2	2,6	21,15...21,27	0,07	0,33
22,2	3,6	22,12...22,28	0,08	0,36

На рис. 6 видно, что результаты измерения внутренних диаметров труб отличаются от номинальных значений. При анализе результатов измерения в таб. 2 видно, что измеренные трубы с внутренним диаметром 21,2мм, максимальная абсолютная погрешность составляет 0,07мм и максимальная относительная погрешность 0,33%. При измерении трубы с внутренним диаметром 22,2мм, максимальная абсолютная погрешность составляет 0,08мм и максимальная относительная погрешность 0,36%. Получается, что погрешности измерения имеют приемлемые значения при возрастании внутреннего диаметра труб и сохранении наружного диаметра НТВТП увеличиваются.

Аналогичные результаты измерения получили для трубы из ферромагнитной стали с номинальным внутренним диаметром 27,6мм. Результаты измерения вносимого напряжения в измерительной обмотке 3 от изменения зазора показаны на рис. 7. В соответствии, измеренное значение внутреннего диаметра трубы показано на рис. 8. Диаметр использованного НТВТП также составлял 18,6мм.

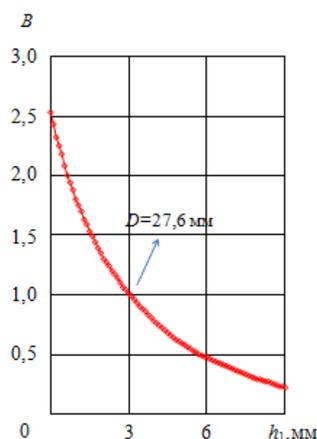


Рис. 7. Вносимые напряжения в измерительной обмотке 3 от изменения зазора h_1

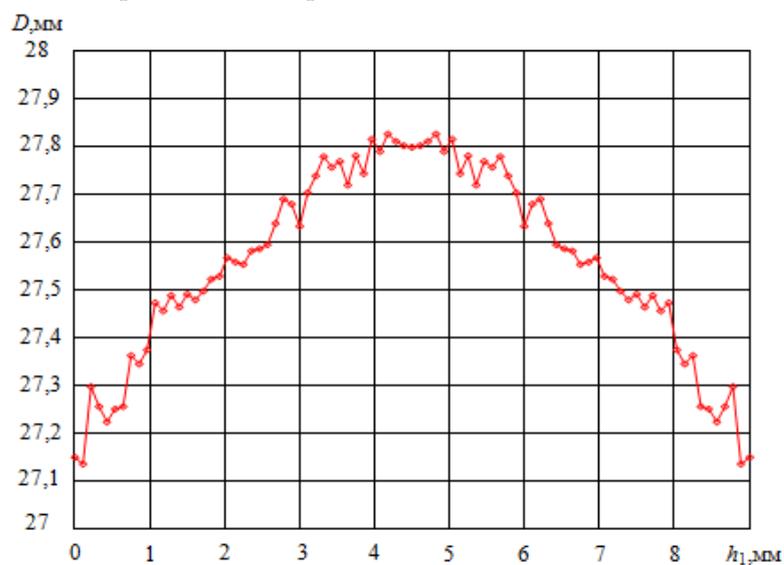


Рис. 8. Измеренный внутренний диаметр трубы от изменения зазора h_1

На рис. 8 видно, что результат измерения внутреннего диаметра трубы отличается от номинального значения. Максимальная абсолютная погрешность измерения составляет 0,47мм

максимальная относительная погрешность 1,7%. Получается, что при общем зазоре 9 мм, погрешность измерения уже большая. Поэтому в таком случае не следует применять НТВТПс диаметром меньше 18,6мм, а надо применять НТВТП с диаметром больше, чем 18,6мм.

Таким образом, сравнение экспериментальных результатов с результатами математического моделирования показывает их малое расхождение. При зазоре между внутренним диаметром трубы и диаметром НТВТП не более 4мм, относительная погрешность измерения не превышает 1%. Следовательно исследованный НТВТП может быть эффективно использован для решения задачи измерения внутреннего диаметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн А.Е., Булгаков В.Ф. Контроль внутреннего диаметра труб вихревым методом. – Дефектоскопия, 2013, № 11, с. 51 – 58.
2. Неразрушающий контроль. Справочник / под ред. В.В. Клюева: в 7 томах. Т 2: в 2-х кн.: Кн. 1: Контроль герметичности. Кн. 2: Вихревой контроль. – М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.

Сведения о авторах:

Чжун Ян: магистр 2-ого курса, Гр. 1БМ32; учится в Томском политехническом университете, институт неразрушающего контроля по специальности “Приборостроение”. Сферой научных интересов является неразрушающий контроль методами вихревого тока.

Гольдштейн А. Е.: заведующий кафедрой информационно - измерительной техники Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета, профессор, доктор технических наук, аттестован на III уровень квалификации по магнитному, электрическому и вихревому контролю. Основным научным направлением является разработка методов и средств измерительных преобразований в низкочастотных электромагнитных полях.

УДК 621.317.3:621.316.8.001.6

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ПОВЕРКИ ТЕРАОММЕТРА (DEVELOPMENT OF INSTRUMENT FOR CALIBRATION OF TERAOHMMETER)

А.А. Коба

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, E-mail: scorp_alex92@mail.ru

Проведен обзор методов измерения больших сопротивлений, на основании которого был выбран метод, который ляжет в основу конструирования тераомметра повышенной точности.
(A review of methods for high resistances measuring is presented, the method for designing of teraohmeter with improved accuracy was chosen)

Ключевые слова:

Большие сопротивления, малые токи, измерение, высокая точность, методы измерения.
(Large resistance, small currents, measurement, high accuracy measurement methods).

Комплекс измерительных задач, решаемых с помощью измерителей больших сопротивлений, определил широкую номенклатуру этих приборов, области применения, разнообразие схмотехнических и конструктивных решений. Не смотря на все разнообразие этих приборов в настоящее время необходимы приборы с высокой точностью измерений высокоомных сопротивлений, которые бы могли использоваться для аттестации других тераомметров.

Основные проблемы:

- Большие погрешности приборов;
- Малое быстродействие;
- Наличие высоких напряжений питания;

Задачи :

- создание прибора для измерения сопротивления с высокой точностью;
- Аттестация тераомметров;

В зависимости от объекта измерений, требуемой точности результата, допустимого напряжения на измеряемом объекте или внешних условий применяют различные методы. В настоящее время наибольшее применение при измерении больших сопротивлений получили следующие методы:

Метод сравнения:

- Мостовые методы

Методы непосредственной оценки:

- Метод стабилизированного тока
- Преобразование в напряжение
- Преобразование во время

Обзор методов приведен в таблице 1[1, 2, 3]

Метод преобразования	Уравнение преобразования	Достоинства	недостатки	Схема
Мостовые методы	$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большая точность 2. Большая чувствительность 4. Широкий диапазон измерений 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Громоздкость 2. Гстановка нуля 3. Сложность автоматизации измерений 4. Использование высокоомных образцовых резисторов 	
Метод стабилизированного тока	$R_x = (k \cdot \frac{U_0}{U_{вых}} - 1)$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нет потребности в высокоомном образцовом сопротивлении; 2. простота. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Малая точность; 2. Обратная зависимость напряжения от измеряемого сопротивления; 	
Преобразование в напряжение	$R_x = \frac{U_{вых} \cdot R_0}{U_0}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Простота 2. Помехоустойчивость 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Необходимость в образцовом резисторе большой величины 2. Обратная зависимость выходной величины от входной 	
Преобразование во время	$R_x = \Delta T \cdot U_0 / (C_0 \cdot \Delta U_{вых})$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нетребуются высокоомные резисторы 2. высокая точность 3. выходная величина 	<ol style="list-style-type: none"> 1. большое время измерений 	

Таблица 1. «Обзор методов измерения больших сопротивлений»

В результате анализа методов измерения за основу был выбран метод преобразования сопротивления во временной интервал на основе интегратора.

Основными проблемами в реализации измерителя больших сопротивлений данного метода являются:

- В результате включения в входную цепь интегратора большого сопротивления, входной ток операционного усилителя будет очень мал (порядка наноампер и ниже). Не все операционные усилители могут работать на таких токах. Поэтому есть необходимость в операционном усилителе с малым входным током;

- Все операционные усилители имеют напряжение смещения, которое значительно влияет на точность прибора. Для того что бы сделать это влияние незначительным, необходимо что бы выходное напряжение во много раз превышало напряжением смещения операционного усилителя;

- Малое быстродействие;

Принципиальная схема интегратора представлена в таблице 1.

Приведем расчет данной схемы:

$$\tau = R_x * C_0 \quad (1)$$

Где, R_x – измеряемое сопротивление; C_0 – образцовая емкость; τ – постоянная времени;

$$I_B = \frac{E}{R_x} \quad (2)$$

Где I_B – входной ток; E – Образцовое напряжение;

$$\frac{E}{R_x} * t = C * U_{ввых} \quad (3)$$

$$I_B * t = C * U_{ввых} \quad (4)$$

Где t – время интегрирования ;

Из уравнения (2) видим, входной ток зависит от входного напряжения и измеряемого сопротивления (чем больше измеряемое сопротивление тем меньше ток). При увеличении опорного напряжения в 10 раз ток уменьшится всего на один порядок из этого следует, что увеличение опорного напряжения не целесообразно.

На вход подаем опорное напряжение 10В (исходя из технического задания), следовательно, для максимального значения измеряемого сопротивления на выходе (при заданном времени интегрирования 1 с.) напряжение будет равно $U_{ввых} = 2.5$ В. Входной ток при этих значениях будет равен $I_B = 0,01$ нА.

Некоторые операционные усилители с малыми входными токами и низкими напряжением смещения приведены в таблице 2.[5]

Таблица 2. «Операционные усилители с малым входным током»

Исполнение	Входной ток, нА	Напряжение питания, В	Напряжение смещения, мкВ
MAX406	0,001	±10	500
LMC6061	0,000010	±16	350
LMC6081	0,000010	±16	350
K140УД24	0,001	±5	±5

В дальнейшем предложенный метод станет основой для конструирования тераомметра повышенной точности в теоретических и экспериментальных исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерения в электронике: Справочник/В. А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.: ил.
2. Иллюкович А.М. Средства поверки электрометрической аппаратуры. - М.: Издательство стандартов, 1978. - 175 с.
3. Мардин В.В. Справочник по электронным измерительным приборам. - М.: Связь, 1978. - 416 с.

4. Шкурин Г.П. Справочник по электро- и электронно-измерительным приборам. - М.: Воениздат, 1972. - 448 с.
5. Операционные усилители. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.centers.ru, свободный. Загл. с экрана.

Сведения об авторе:

Коба А.А.: г. Томск, (должность)Томский политехнический университет, e-mail: scorp_alex92@mail.ru

УДК 621.3.089.68

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ
(THE INFLUENCE OF TEST VOLTAGE PARAMETERS ON INSULATION CONTROL RESULTS WITH COMPLEX METHOD)**

Н.С. Старикова, В.В. Редько
N.S. Starikova, V.V. Redko

Национальный исследовательский томский политехнический университет
E-mail: nadushasns@sibmail.com

В данной работе предложен комплексный метод контроля состояния изоляции кабельных изделий. Приведен анализ влияния амплитуды и частоты испытательного напряжения на результат контроля. (In this paper the complex method of cable insulation control is proposed. The influence of the amplitude and frequency of the test voltage on the result of control is analysed.)

Ключевые слова:

Контроль, изоляция, кабель, испытательное напряжение.
(Control, insulation, cable, test voltage.)

Введение

Изоляция является обязательным конструктивным элементом кабелей и проводов и необходима для предотвращения электрического контакта между проводящими частями кабелей, для обеспечения передаточных свойств кабеля, для защиты жилы кабеля от механических воздействий и других неблагоприятных факторов. Таким образом, для обеспечения надежного канала связи необходим качественный контроль состояния изоляции на протяжении всей длины кабеля.

В действующей нормативной документации регламентированы два метода контроля состояния изоляции кабельных изделий: электроискровой [1] и электроемкостной [2,3]. Ранее, при анализе данных методов были отмечены их недостатки [4]. Указанные недостатки можно устранить путем объединения двух методов контроля и, тем самым, повысить информативность контроля [4].

Описание комплексного метода контроля

Данный метод заключается в приложении к объекту контроля испытательного напряжения определенной частоты с помощью цепочного электрода (Рисунок 1) и одновременном непрерывном контроле погонной емкости.

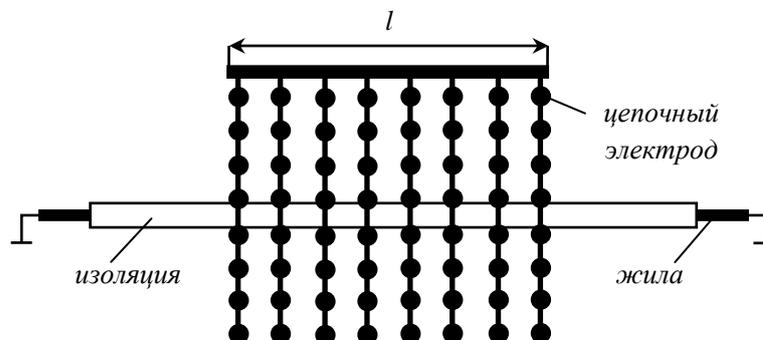


Рис. 1. Модель цепочного электрода и объекта контроля

Величина испытательного напряжения выбирается исходя из толщины и материала изоляции [5], аналогично испытаниям по категории ЭИ-2 (испытания «на проход») [1]. Таким образом, о состоянии изоляции судят по двум факторам: по изменению погонной емкости и возникновению пробоя.

Постановка цели исследования

При измерении электрической емкости предложенным комплексным методом точность измерений зависит от многих параметров. Целью данной работы является анализ влияния параметров испытательного напряжения на точность измерения электрической емкости и предложение методов отстройки.

Теоретическая модель проведения контроля

Контроль комплексным методом осуществляется при приложении к кабелю испытательного напряжения (Рисунок 2). Так как в данном случае кабель можно представить как два концентрических цилиндра, то электрическую емкость контролируемого участка можно рассчитать по известной формуле для цилиндрического конденсатора [6].

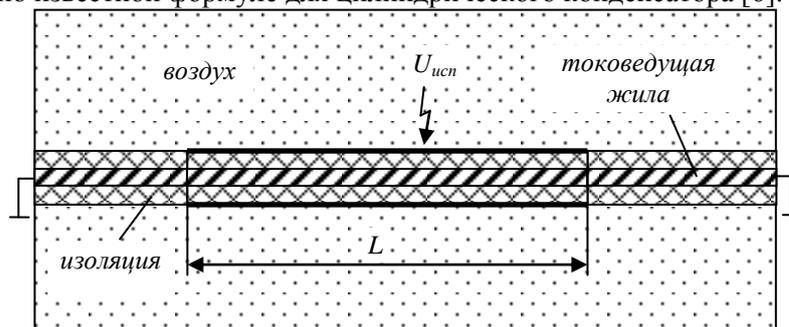


Рис. 2. Теоретическая модель кабеля с обозначением зоны контроля

При практической реализации предложенного комплексного метода измеренная емкость контролируемого участка будет отличаться от теоретически рассчитанной из-за наличия растекания приложенного напряжения по поверхности изоляции. Растекание возникает за счет частичных разрядов, распространяющихся по поверхности изоляционного покрытия. Таким образом, зона контроля L превышает по длине цепочный электрод l (Рисунок 1), на который подается высокое напряжение.

Растекание напряжения по поверхности изоляции зависит от таких параметров испытательного напряжения, как амплитуда и частота.

Параметры испытательного напряжения

Амплитуда испытательного напряжения при электроискровом контроле значительно превышает рабочее напряжение кабеля и нормирована государственным стандартом [5] в соответствии с толщиной и материалом изоляции.

На рисунке 3 показана зависимость величины растекания потенциала по поверхности изоляции от амплитуды испытательного напряжения при разных значениях частоты. По графику видно, что величина растекания с увеличением частоты и амплитуды испытательного напряжения увеличивается. Для отстройки от данных параметров необходимо, чтобы программной частью прибора были учтены параметры испытательного напряжения (амплитуда и частота) при нахождении погонной емкости объекта контроля.

Вывод

В данной работе было рассмотрено влияние параметров испытательного напряжения на растекание потенциала по поверхности изоляции. Предложен метод, который позволит уменьшить это влияние и получить полезный сигнал, необходимый для обеспечения высокой достоверности контроля состояния изоляции кабельных изделий. Предложенный метод отстройки является программными и не приводят к усложнению конструкции прибора, что является достоинством.

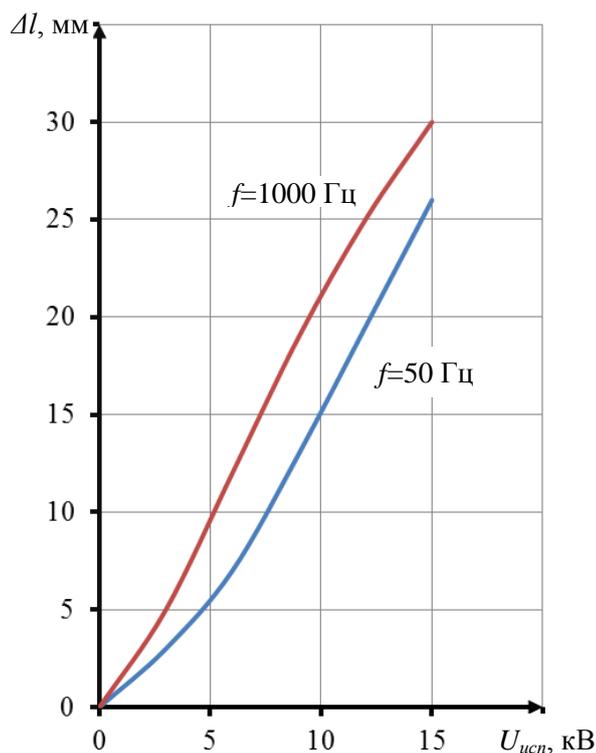


Рис. 3. Зависимость величины растекания потенциала по поверхности изоляции от амплитуды испытательного напряжения

Работа выполнена при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (конкурс «УМНИК-2014»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабели, провода и шнуры. Методы испытания напряжением: ГОСТ 2990-78. – Изд. июнь. 1986 с Изм. 1, 2, 3 (ИУС 11-81, 10-84, 10-86). – Взамен ГОСТ 2990-72, ГОСТ 17397-72; введ. 20.12.78.
2. Пат. 7129711 В2 США. Device for detecting interferences or interruptions of the inner fields smoothing layer of medium or high voltage cables / Н. Prunk, К. Bremer. Оpubл. 31.10. 06.
3. Гольдштейн А. Е. , Вавилова Г. В. Отстройка от влияния изменения электропроводности воды на результаты технологического контроля погонной емкости электрического кабеля // Ползуновский вестник. - 2013 - №. 2. - С. 146-150.
4. Старикова Н. С. , Редько В. В. Исследование методов контроля целостности изоляции в области слабых и сильных электрических полей [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. - 2013 - №. 3 (9). - С. 55-59. - Режим доступа: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/746>.
5. ГОСТ 23286-78 Кабели, провода и шнуры. Нормы толщин изоляции, оболочек и испытаний напряжением. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 8 с.
6. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1960. – 462 с.

Сведения об авторах:

Старикова Н.С.: г. Томск, аспирант кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета, область научных интересов – кабельное приборостроение.

Редько В.В.: г. Томск, к.т.н., доцент кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета, область научных интересов – кабельное приборостроение.

УДК 621.3.08

КОНТРОЛЬ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ОДНОЖИЛЬНОГО КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ПРОИЗВОДСТВА (IN-PROCESS CONTROL OF CAPACITANCE PER UNIT LENGTH FOR SINGLE CORE ELECTRICAL CABLES)

А.Е. Гольдштейн, Г.В. Вавилова
A.E. Goldstein, G.V. Vavilova

Национальный исследовательский томский политехнический университет
E-mail: wgw@tpu.ru

Описана техническая реализация метода измерения погонной емкости одножильного кабеля в процессе производства. Проанализировано влияние изменения электропроводности воды на результаты измерения. Предложены способы отстройки от влияния этого изменения на результаты контроля. (Technical in-process implementation of the method to measure of the capacitance per unit length of single core cable is described. The impact of changes in water conductivity on measurement results is analyzed. Techniques to offset from the impact of changes in water conductivity on the results of the electrical capacitance per unit length control are proposed.)

Ключевые слова:

Погонная емкость кабеля, электроемкостной измерительный преобразователь, отстройка от влияния электропроводности.

(Cable electrical capacitance per unit length, electrocapacitive measuring transducer, offset from the impact of changes in water conductivity.)

Для контроля емкости кабеля в процессе его производства используется метод, заключающийся в создании гармонического электрического поля между участком поверхности изоляции кабеля и заземленной жилой с помощью помещенного в воду трубчатого измерительного электрода и измерения силы тока, протекающего через измерительный электрод, по значению которой судят о значении погонной емкости [1]. При таком способе можно контролировать емкости по всей длине кабеля.

Конструкция используемого для реализации описанного метода контроля электроемкостного измерительного преобразователя (ЭЕИП) и схема его включения в измерительную цепь показана на рисунке 1. ЭЕИП состоит из цилиндрического металлического корпуса 1, трубчатого измерительного электрода 2, двух дополнительных трубчатых электродов 3. Измерительный и дополнительные электроды изолированы от корпуса изоляционным материалом 4. Внутри трубчатых электродов пропускается контролируемый кабель 5. Трубчатые электроды соединены с генератором 6 переменного напряжения \dot{U} частотой ω . Жила кабеля и корпус преобразователя заземляются. Преобразователь вместе с находящимся в нем участком контролируемого провода находится в воде, а точнее в водном электропроводящем растворе имеющихся в технической воде солей, кислот и оснований.

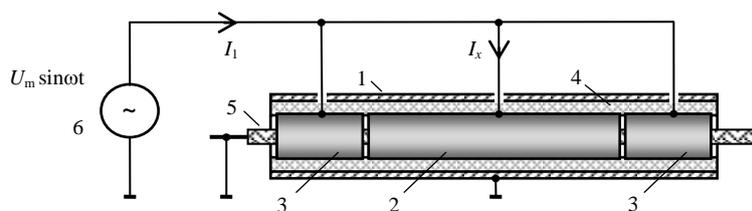


Рис.1. Конструкция и схема включения ЭЕИП:

1 – корпус преобразователя; 2 – измерительный электрод;
3 – дополнительные электроды; 4 – диэлектрик; 5 – кабель; 6 – генератор.

Целью данной работы является определение функции преобразования ЭЕИП и исследование влияния на нее изменения электропроводности воды.

Для исследования были использованы образцы одножильных кабелей с наружным диаметром до 4 мм со значениями погонной емкости в интервале от 180 пФ/м до 460 пФ/м и близкими значениями сопротивления изоляции. Действительное значение погонной емкости кабеля определялось в соответствии с ГОСТ 27893-88 [2]. Моделирование изменения удельной электропроводности водного раствора производилось путем растворения поваренной соли NaCl в изначально пресной воде, что обеспечивало изменение концентрации соли λ в диапазоне (0...4) г/л. В процессе эксперимента амплитуда переменного напряжения и температура раствора поддерживались постоянными.

Полученные в результате эксперимента годографы относительного значения тока i^* от изменения погонной емкости кабеля C_n (сплошные линии) и весовой концентрации соли λ (пунктирные линии) приведены на рисунке 2. Значение тока для случая отсутствия кабеля в преобразователе ($C_n = 0$) и $\lambda \rightarrow 0$ (дистиллированная вода) принималось в качестве нормирующего.

Амплитуду тока i^* , линейно возрастающую при увеличении погонной емкости кабеля, целесообразно использовать как информативный параметр выходного сигнала ЭЕИП. Изменение весовой концентрации соли вызывает изменение амплитуды тока от 10 % для больших значений C_n до 20 % для малых значений. Соответственно без учета влияющих факторов при измерении погонной емкости будет присутствовать столь же высокая погрешность измерения.

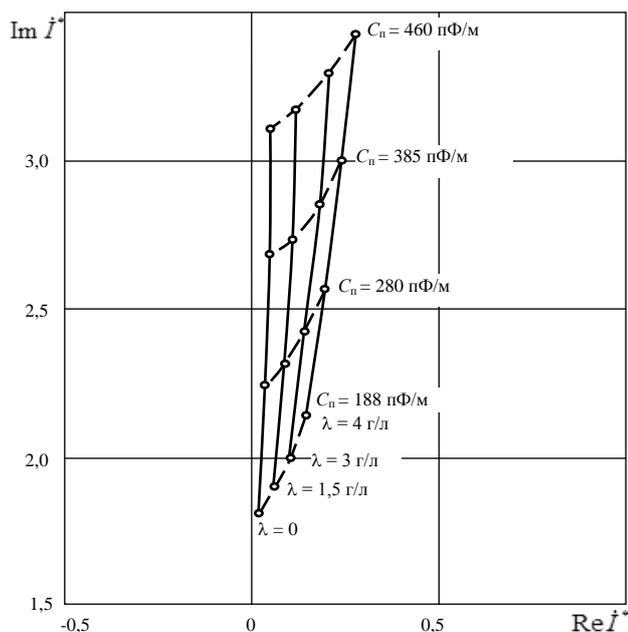


Рис. 2. Годографы сигнала электроемкостного преобразователя от изменения погонной емкости электрического кабеля C_n и весовой концентрации соли λ

Для определения величины погонной емкости кабеля C_n может быть использована линейная функция преобразования вида:

$$C_n = C_{01}(\lambda) + k_1(\lambda) \cdot I^*, \quad (1)$$

где $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями концентрации соли в воде и описываемые полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами конкретного электроемкостного преобразователя. Значение весовой концентрации соли в данной работе определены на основе косвенных измерений солености воды.

С возрастанием концентрации соли в воде возрастает фазовый угол φ между вектором

тока \dot{I}^* и мнимой осью комплексной плоскости и соответственно возрастает отношение $t = \text{Re } \dot{I}^* / \text{Im } \dot{I}^*$, равное $\text{tg } \varphi$. А также возрастает значение тока I_1 генератора, нагрузкой которого являются все электроды измерительного преобразователя (рисунок 1). Обе эти величины можно использовать для получения уравнения обратного преобразования значения амплитуды тока \dot{I}^* в значение погонной емкости.

Для первого случая в уравнение (1) коэффициенты $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ заменяются $C_{02}(t)$ и $k_2(t)$ - функциями величины t , отражающей электропроводность воды. Оценка эффективности этого способа отстройки показывает, что значения погонной емкости отличается от действительных значений емкости не более чем на 2,5 %.

Если в процессе контроля изменение фазы измеряемого тока происходит не только при изменения электропроводности воды, но и при изменении соотношения электрических параметров провода C_x и R_x , то описанный метод отстройки неэффективен. В этом случаи в качестве информативного параметра используется значение тока I_1 генератора и коэффициенты $C_{01}(\lambda)$ и $k_1(\lambda)$ заменяются $C_{03}(I_1)$ и $k_3(I_1)$, являющимися функциями величины I_1 , отражающей электропроводность воды.

Таким образом, показано, изменение удельной электропроводности воды оказывает существенное влияние на результаты контроля погонной емкости кабеля. Предложены методы отстройки от влияния указанных факторов на результаты контроля, основанные на косвенном измерении удельной электропроводности и введении соответствующей поправки в функцию преобразования. Показано, что использование данных методов отстройки позволяет многократно повысить точность контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн А.Е., Вавилова Г.В., Белянков В.Ю. Электроемкостный измерительный преобразователь для технологического контроля погонной емкости электрического кабеля в процессе производства – Дефектоскопия, 2015, № 2, с. 35–43.
2. ГОСТ 27893–88 (СТ СЭВ 1101–87). Кабели связи. Методы испытаний.– М.: Изд-во стандартов, 1989.– 26 с.

Сведения об авторах:

Гольдштейн А.Е.: д.т.н., зав. кафедрой Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета.

Вавилова Г.В.: аспирант кафедры Информационно-измерительной техники Томского политехнического университета.

УДК 621.391.244

УПРАВЛЯЕМАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ РЕШЕТКА ДЛЯ РАДИОВИДЕНИЯ (CONTROLLED REFLECTIVITY ARRAY FOR RADIOVISION)

С.Э. Шипилов, А.И.Еремеев, В.П. Якубов
S. Shipilov, A. Eremeev, V. Yakybov

Национальный исследовательский томский государственный университет
E-mail: s.shipilov@gmail.com

В работе рассматривается принципиальная возможность создания управляемых отражателей для формирования заданного распределения поля в зоне фокусировки. Отражатели меняют коэффициент отражения в зависимости от внешнего управления. Предлагается теоретическое моделирование такого управляемого фокусирующего устройства, которое обеспечивает фокусировку в заданную точку пространства при заданном распределении отражателей. На основе численного моделирования рассматривается применение данного подхода для решения задачи радиотомографии.

(It's considered the principle possibility of creation the managed reflectors for formulation of given field distribution in the focus area. Reflectors change the reflect ratio in dependence of the external control. The proposed theoretical modeling of such controlled focused device which provides focus to a specific point in a given distribution of the reflectors. On the basis of numerical simulation it's considered the application of this approach for the solution of the problem of radiotomography.)

Ключевые слова:

Радиотомография, фокусировка, зоны Френеля, антенная решетка.
(Radiotomography, focusing, Fresnel zone, antenna array).

Введение

Благодаря развитию вычислительных средств стало возможно применение методов радиоволновой томографии, как средств дистанционного неразрушающего контроля и диагностики внутренней структуры, полупрозрачных для радиоизлучения сред и восстановления формы непрозрачных объектов. Задача радиотомографии заключается в пересчете данных полученных на основе разностороннего сканирования исследуемых объектов [1]. Для получения многокурсных проекций волнового поля создают антенные решетки с электронным или электромеханическим сканированием. Однако разработка и создание таких решеток является сложной и дорогостоящей задачей, поскольку они требуют создания и управления большим числом прямо-передающих высокочастотных трактов.

В настоящее время ведутся поиски возможностей упрощения и удешевления радиоизлучающих систем с управляемой диаграммой направленности. Известно, что плоские линзы в виде зонных пластин Френеля могут хорошо фокусировать излучение в заданной точке пространства. Изменяя геометрическое расположение зонных колец, можно осуществлять электронное сканирование в некотором секторе углов [2-3]. При этом положение облучателя и приемника остается неизменным. В данной работе авторами предлагается решение задачи радиотомографии с использованием модели отражательной решетки, каждый элемент которой может изменять коэффициент отражения под действием внешнего управления.

Расчет распределения коэффициента отражения

Будем считать, что элемент решетки под действием внешнего управления может находиться в двух состояниях с коэффициентами отражения 0 и 1. Тогда восстановление формы зондируемого объекта с использованием плоской отражательной решетки, состоящей из таких отражателей, разбивается на две задачи. Первая задача формулируется следующим образом. При известном расположении излучателя рассчитать распределение отражателей с коэффициентами отражения 0 и 1 на плоскости для фокусировки излучения в заданную точку пространства. Вторая задача состоит в расчете поля в приемнике, отраженного от тестового объекта, при заданном распределении отражателей.

Рассмотрим подробно геометрию задачи, представленную на рис. 1. Пусть в свободном пространстве в декартовой системе координат распространяется сферическая волна, излученная передатчиком. Передатчик (1) расположен на оси oz на высоте h от отражающей решетки (2). Над решеткой расположен тестовый объект (3). Положение приемника совпадает с положением передатчика.

Решение первой задачи сводится к расчету формы зон Френеля для заданного расположения передатчика и точки фокусировки. Если точка фокусировки расположена на оси oz на некоторой высоте, то форма зон Френеля представляет собой окружности. При произвольном расположении точки фокусировки зоны Френеля будут иметь форму эллипсов с центрами, несовпадающими с началом координат.

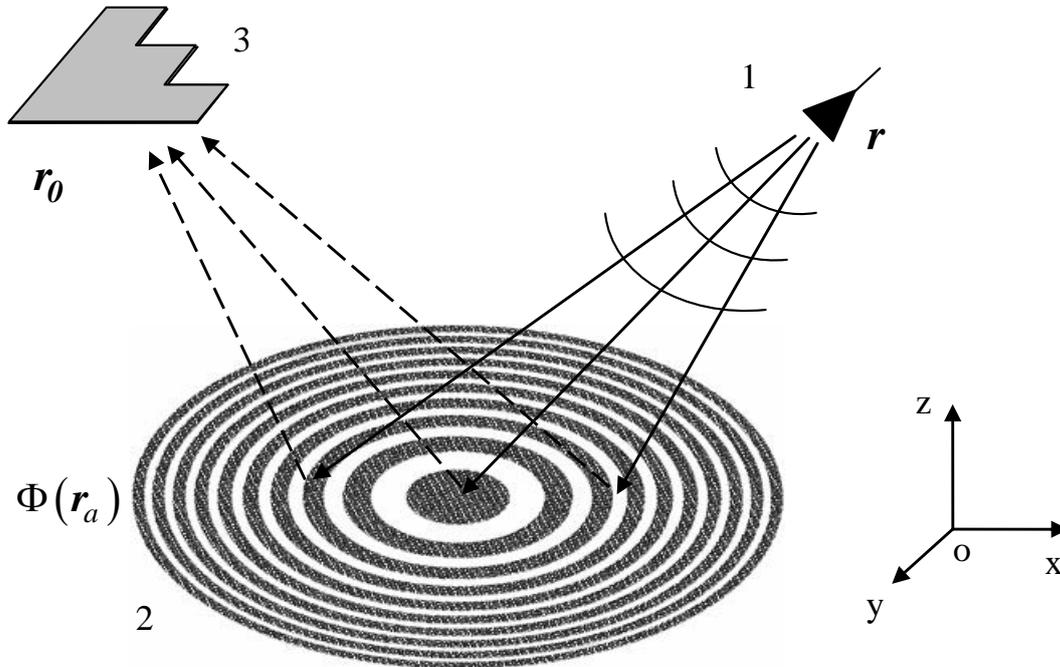


Рис. 1. Геометрия задачи

Зададим координаты точки фокусировки (x_0, y_0, z_0) . Тогда границы зон Френеля описываются следующим уравнением:

$$\sqrt{z_0^2 + (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} + \sqrt{h^2 + x^2 + y^2} = n\lambda \left(1 + \frac{1}{4}\right),$$

где n - номер границы зоны Френеля, а λ - длина волны зондирующего сигнала.

Рассмотрим случай, когда $y_0 = 0$. Тогда выражение для границ зон сводится к уравнению следующего вида:

$$\frac{(x - x_c)^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1, \quad (1)$$

где A и B большая и малая полуось эллипса соответственно. Они вычисляются следующим образом:

$$A^2 = \frac{\left(1 - \frac{x_0^2}{d^2}\right)^2}{\left(\frac{qx_0}{d}\right)^2 + (q^2 - h^2)\left(1 - \frac{x_0^2}{d^2}\right)}, \quad B^2 = \frac{1 - \frac{x_0^2}{d^2}}{\left(\frac{qx_0}{d}\right)^2 + (q^2 - h^2)\left(1 - \frac{x_0^2}{d^2}\right)}.$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$d = n\lambda \left(1 + \frac{1}{4}\right), \quad q = \frac{z_0^2 + x_0^2 - d^2 - h^2}{2d}, \quad x_c = \frac{qx_0}{x_0^2 - d^2}.$$

Получив выражения для границ зон Френеля, присваиваем четным зонам значение 1, а нечетным значение 0. Получаем распределение коэффициента отражения $\Phi(\mathbf{r}_a)$ (рис. 1). Данное распределение коэффициента отражения обеспечивает фокусировку излучения в точку $(x_0, 0, z_0)$.

Более общий случай, когда $y_0 \neq 0$. Его можно свести к выражению (1) заменой

$$x_0 \rightarrow \text{sgn}(x_0) \sqrt{x_0^2 + y_0^2}, \quad \text{где } \text{sgn}(x_0) = \begin{cases} 1, & x_0 > 0; \\ 0, & x_0 = 0; \\ -1, & x_0 < 0. \end{cases}$$

и последующей операцией пересчета $\Phi(\mathbf{r}_a)$ из одной системы координат в другую с использованием матрицы поворота

$$A_\varphi = \begin{pmatrix} \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ -\sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad \text{где } \varphi = \arctg\left(\frac{y_0}{x_0}\right).$$

Таким образом, получаем решение первой задачи, распределение отражателей, обеспечивающих фокусировку излучения в заданную точку пространства.

Рассмотрим решение второй задачи. Поле в плоскости тестового объекта на высоте z_0 после отражения от пластины записывается как

$$E1(\mathbf{r}_0) = \int G(\mathbf{r}_a - \mathbf{r}_0) \Phi(\mathbf{r}_a) G(\mathbf{r}_a - \mathbf{r}) d\mathbf{r}_a.$$

Здесь $G(\mathbf{r})$ функция Грина точечного излучателя. Тогда после отражения от объекта поле в плоскости расположения отражателей описывается выражением вида:

$$E2(\mathbf{r}_a) = \int E1(\mathbf{r}_0) \gamma(\mathbf{r}_0) G(\mathbf{r}_0 - \mathbf{r}_a) d\mathbf{r}_0,$$

где $\gamma(\mathbf{r}_0)$ - функция, описывающая геометрию зондируемого объекта. Она равна 1 внутри геометрических границ объекта и равна 0 за его пределами. Поле в плоскости приемника на высоте h равно:

$$E3(\mathbf{r}) = \int E2(\mathbf{r}_a) \Phi(\mathbf{r}_a) G(\mathbf{r}_a - \mathbf{r}_0) d\mathbf{r}.$$

Очевидно, что наилучшая фокусировка наблюдается, когда точка приемника совпадает с точкой передатчика.

Таким образом, решены две поставленные задачи. Получено выражение для описания распределения коэффициента отражения в плоскости отражательной решетки, обеспечивающего фокусировку излучения в заданную точку пространства. Также получено выражение для поля в точке приемника. Данные результаты будут использованы для моделирования отражательной решетки и получения радиоизображения тестового объекта. Следует заметить, что поле, зарегистрированное в приемнике при переборе всех точек фокусировке в заданном объеме, и будет являться радиотомограммой исследуемого пространства.

Численное моделирование

В ходе численного моделирования задавалась плоская матрица отражателей размером 20 на 20 см. Размеры отражателя составляли 0.5 см. Координаты передатчика и приемника $(0, 0, 20)$. Координаты точки фокусировки $(0, 0, 30)$. Было рассчитано распределение коэффициента отражения $\Phi(\mathbf{r}_a)$ для частоты 24 ГГц (рис.2). На рис. 3 представлено сфокусированное решеткой излучение в плоскости тестового объекта. На рис. 4 показано

распределение поля в приемнике. Максимальное значение рассеянного поля совпадает с координатами расположения передатчика.

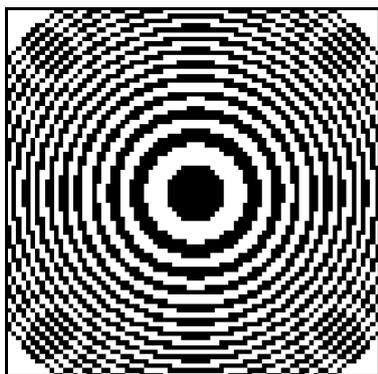


Рис. 2. Распределение зон Френеля

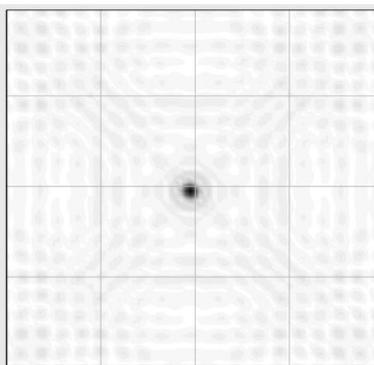


Рис. 3. Фокусировка поля в плоскости объекта

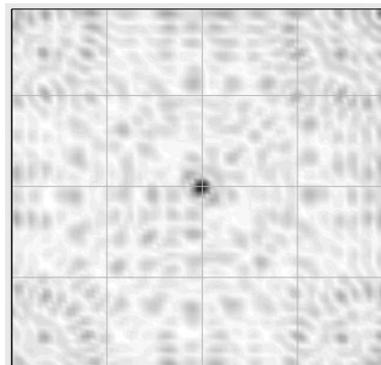


Рис. 4. Распределение поля в плоскости приемника

На рис. 5 показано распределение коэффициента отражения для точки фокусировки с координатами $(0,5,30)$. Тогда излучение сфокусированное решеткой в плоскости тестового объекта и распределение поля в приемнике для данной точки фокусировки изображено на рис. 4, 5 соответственно. Из приведенных рисунков видно, что поле в плоскости объекта фокусируется аналогичным образом, как и при расположении точки фокусировки на оси oz . Немного по-другому обстоит дело с распределением поля в плоскости приемника, при смещении точки фокусировки с оси oz возрастают шумы.

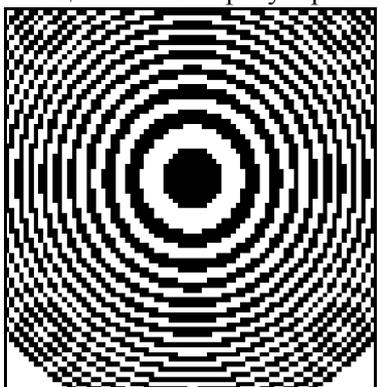


Рис. 5. Распределение зон Френеля

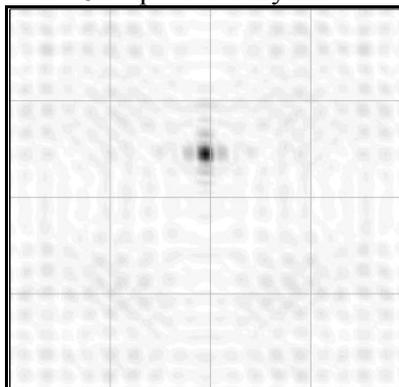


Рис. 6. Фокусировка поля в плоскости объекта

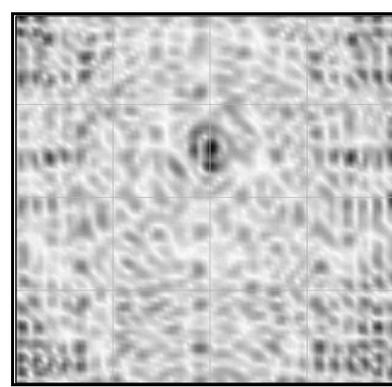


Рис. 7. Распределение поля в плоскости приемника

Таким образом, лучшая фокусировка обеспечивается при совмещении передатчика и приемника.

В качестве тестового объекта был выбран плоский объект в виде зубчатого треугольника с размерами ступеньки 3 см (рис. 8), находящийся на высоте 10 см от отражательной решетки. На рис. 9 показано радиоизображение тестового объекта при использовании отражательной решетки размером 10 на 10 см. Аналогичный результат для решетки размером 20 на 20 см представлен на рис. 10.

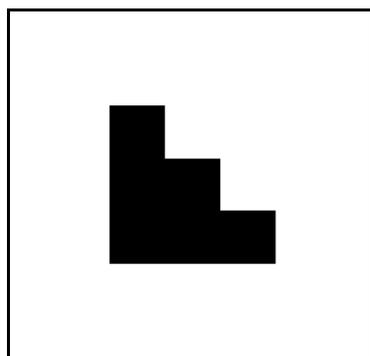


Рис. 8. Тестовый объект

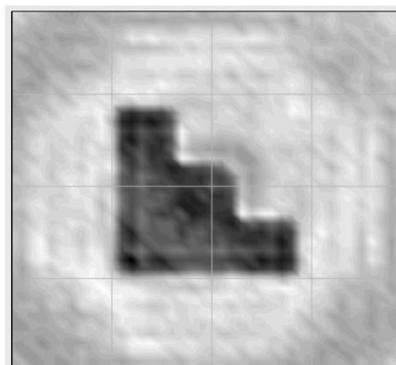


Рис. 9. Радиоизображение тестового объекта при использовании решетки 10 на 10 см

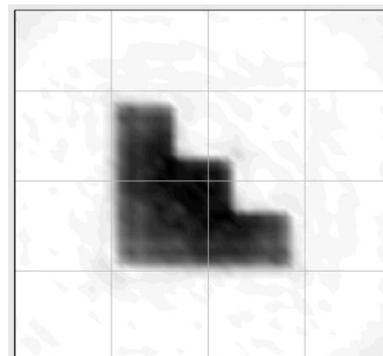


Рис. 10. Радиоизображение тестового объекта при использовании решетки 20 на 20 см

На радиоизображении отчетливо виден треугольник, который задавали в качестве тестового объекта. Видно, что радиоизображение получается более четким и с меньшим уровнем артефактов при использовании большей апертуры отражательной решетки.

Для рассчитанной отражательной решетки изменение частоты излучения приводит к смещению точки фокусировки вдоль линии фокусировки. Это можно рассматривать как некий принцип масштабирования. Ведь геометрические размеры, например, первой зоны Френеля будут уменьшаться, но, с другой стороны, фактические размеры сечения этой зоны плоскостью рефлектора должны оставаться неизменными. Этого можно добиться, увеличив высоту подъема точки фокусировки над плоскостью отражательной решетки. Таким образом, увеличение рабочей частоты должно увеличивать высоту точки фокусировки и, наоборот, уменьшение частоты – уменьшение соответствующей высоты. Этот результат иллюстрирует рис. 11, показывающий зависимость высоты подъема точки фокусировки над плоскостью отражательной решетки в зависимости от частоты падающего излучения.

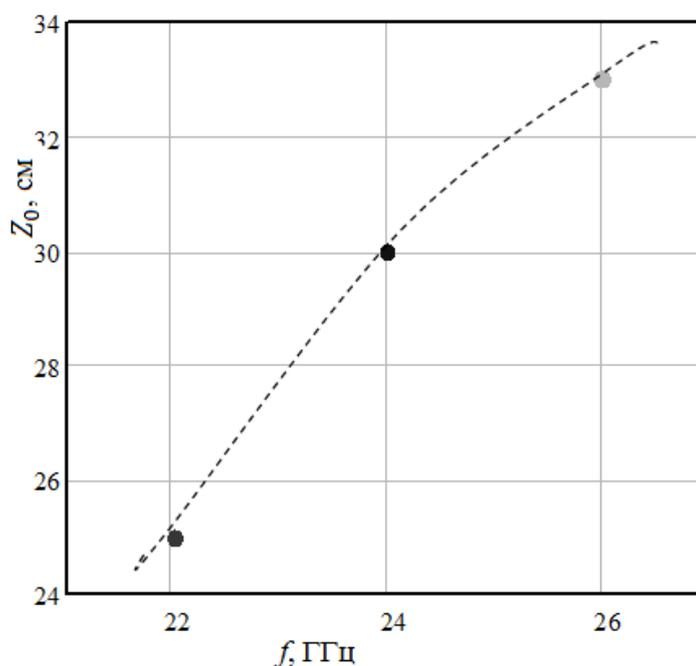


Рис. 11. Изменение высоты точки фокусировки в зависимости от частоты

Можно сделать вывод, что предложенная решетка хорошо фокусирует разные частоты, но делает это на различных расстояниях от плоскости отражения. Так на частоте $f = 24$ ГГц

высота наилучшей фокусировки $z_0 = 30$ см, а на частоте $f = 22$ ГГц высота наилучшей фокусировки, уменьшается до $z_0 = 25$ см. В тоже время на частоте $f = 26$ ГГц высота наилучшей фокусировки равна $z_0 = 33$ см.

Заключение

Проведенное исследование позволило проанализировать возможность использования плоской отражательной решетки с управляемым коэффициентом отражения для фокусировки монохроматического излучения и решения задачи радиотомографии. Проведенное численное моделирование на тестовом объекте в виде зубчатого треугольника показало возможность восстановления формы зондируемого объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 280 с.
2. Leon G., Herran L., Munoz M., Las-Heras F., Hao Y. Millimeter-Wave Offset Fresnel Zone Plate Lenses Characterization, Progress In Electromagnetics Research. – 2014. – V. 54. – P. 125-131.
3. Hajian M., Vree G., Ligthart L. Electromagnetic Analysis of Beam-Scanning Antenna at Millimeter-Wave Band Based on Photoconductivity Using Fresnel-Zone-Plate technique, IEEE Antennas and Propagation Magazine. – 2003. – V. 45. – No. 5. – P. 13-25.

Сведения об авторах:

Якубов В.П.: Зав. кафедрой радиофизики НИ ТГУ.

Шипилов С.Э.: г. Томск, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиофизики НИ ТГУ.

Еремеев А.И.: г. Томск, студент кафедры радиофизики НИ ТГУ.

УДК: 621.396.67

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ДИОДОМ (WAVE SCATTERING BY SEMICONDUCTOR DIODE)

А.Г. Быков, Д.В. Лосев, Д.С. Бардашов
A. Bykov, D. Losev, D. Bardashov

Национальный исследовательский томский государственный университет
E-mail: bykov_a_g@mail.ru

В статье делается попытка рассмотрения процессов взаимодействия излучения с нелинейной средой в рамках скалярной теории на основе уравнений Максвелла. Решение рассматривается для достаточно произвольного вида падающей волны и допускает эффективное использование при диагностике вида нелинейности (вольт-амперной характеристики).

(This article describes processes of interaction of radiation with the nonlinear medium within the scalar theory on the basis of Maxwell's equations. The decision is considered for arbitrary type of the wave and allows effective use at diagnostics of a type of nonlinearity (volt-ampere characteristic).)

Ключевые слова:

Нелинейный объект, вольт-амперная характеристика, рассеяние волн
(Nonlinear object, volt-ampere characteristic, wave scattering.)

Интегральное уравнение поля в нелинейной среде

В настоящее время существующие подходы расчета характеристик излучения нелинейных элементов основаны на различного рода приближениях. Для наиболее точного описания эффектов рассеяния излучения в нелинейных средах необходимо исходить из системы уравнений Максвелла.

Запишем материальные уравнения для нелинейной среды. Магнитные свойства среды будем характеризовать магнитной проницаемостью μ_0 , для простоты принимаемой постоянной и равной 1, относительную диэлектрическую проницаемость μ_0 и проводимость σ фоновой среды также будем считать постоянными, а нелинейные свойства объекта будем описывать с помощью зависимости электрической индукции $\vec{D}_1(\vec{E})$ и плотности тока $\vec{j}_1(\vec{E})$ от величины приложенного поля. При этом материальные уравнения для векторов электрической и магнитной индукции и плотности тока во временной области принимают вид

$$\vec{D} = \varepsilon_a \vec{E} + \vec{D}_1(\vec{E}), \quad \vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad \vec{j} = \sigma \vec{E} + \vec{j}_1(\vec{E}), \quad (1)$$

где $\varepsilon_a = \varepsilon \varepsilon_0$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость.

Воспользовавшись уравнениями Максвелла, материальными уравнениями (1) и считая, что фоновая среда непроводящая ($\sigma = 0$), сведем задачу к решению неоднородного волнового уравнения для вектора напряженности электрического поля

$$\Delta \vec{E} - \mu_0 \varepsilon_a \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{\text{grad} \rho}{\varepsilon_a} + \mu_0 \frac{\partial \vec{j}_{cm}}{\partial t} - \frac{\text{grad} \text{div} \vec{D}_1(\vec{E})}{\varepsilon_a} + \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{D}_1(\vec{E})}{\partial t^2} + \mu_0 \frac{\partial \vec{j}_1(\vec{E})}{\partial t}, \quad (2)$$

где ρ, \vec{j}_{cm} – плотности сторонних зарядов и токов.

Решать уравнение (2) будем методом функции Грина. Уравнение для функции Грина

$$\Delta G - \mu_0 \varepsilon_a \frac{\partial^2 G}{\partial t^2} = \delta(\vec{r} - \vec{r}_0) \delta(t - t_0)$$

имеет решением функцию [1]

$$G(\vec{r}, \vec{r}_0, t, t_0) = -\frac{\delta(t - t^*)}{4\pi |\vec{r} - \vec{r}_0|},$$

где $t^* = t_0 - |\vec{r} - \vec{r}_0|/v$ – время запаздывания за счет конечности скорости распространения волны в фоновой среде $v = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_a}$.

В итоге приходим к интегральному уравнению для распределения напряженности электрического поля

$$\begin{aligned} \vec{E}(\vec{r}_0, t_0) = & \vec{E}_0(\vec{r}_0, t_0) + \frac{1}{\epsilon_a v} \int_V \text{grad div} \vec{D}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*) \cdot \frac{d\vec{r}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_0|} - \\ & - \mu_0 \int_V \frac{\partial^2 \vec{D}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*)}{\partial t^{*2}} \cdot \frac{d\vec{r}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_0|} - \mu_0 \int_V \frac{\partial \vec{j}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*)}{\partial t^*} \cdot \frac{d\vec{r}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_0|}, \end{aligned} \quad (3)$$

где первое слагаемое

$$\vec{E}_0(\vec{r}_0, t_0) = \int_V \left(\mu_0 \frac{\partial \vec{j}_{cm}(\vec{r}, t^*)}{\partial t^*} + \frac{\text{grad} \rho(\vec{r}, t^*)}{\epsilon_a} \right) \cdot \frac{d\vec{r}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_0|}$$

описывает падающее на нелинейный объект поле, а остальные – рассеянное им поле. Из свойств дельта-функции следует, что интегрирование ведется по шару с центром в точке \vec{r}_0 и радиусом vt_0 , который определяется условием $|\vec{r} - \vec{r}_0| \leq vt_0$.

Вычислим интеграл второго слагаемого в (2) с помощью интегрирования по частям [2], считая, что на ограничивающей объем поверхности величина \vec{D}_1 и все ее производные по пространственным координатам равны нулю. Это обусловлено тем, что рассеянное поле не успело к рассматриваемому времени выйти из объема интегрирования. Имеем

$$\begin{aligned} \int_V \text{grad div} \vec{D}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*) \cdot \frac{d\vec{r}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_0|} &= -\frac{1}{4\pi} \int_V \text{div} \vec{D}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*) \text{grad} \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} d\vec{r} = \\ &= \frac{1}{4\pi} \int_V \text{div} \vec{D}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*) \cdot \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^3} d\vec{r} = -\frac{1}{4\pi} \int_V \vec{D}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*) \text{div} \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^3} d\vec{r} = 0. \end{aligned}$$

В результате уравнение (3) примет вид

$$\vec{E}(\vec{r}_0, t_0) = \vec{E}_0(\vec{r}_0, t_0) - \mu_0 \int_V \frac{\partial^2 \vec{D}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*)}{\partial t^{*2}} \cdot \frac{d\vec{r}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_0|} - \mu_0 \int_V \frac{\partial \vec{j}_1(\vec{E}(\vec{r}, t^*), \vec{r}, t^*)}{\partial t^*} \cdot \frac{d\vec{r}}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_0|}.$$

Решение полученного интегрального уравнения для нелинейной среды в общем случае представляет чрезвычайно сложную задачу.

Случай сосредоточенной нелинейности

Исследуем свойства электромагнитного поля для простейшего случая, когда нелинейность изолирована и сосредоточена в некоторой точке пространства. Для определенности будем считать, что нелинейность равномерно распределена внутри малого цилиндра с центром в точке \vec{r}_1 , радиусом a и высотой h (рис. 1.). Кроме того, пренебрегая эффектами деполяризации излучения, ограничимся скалярным приближением для любой из проекций $E(\vec{r}, t)$ в некоторой системе координат.

С учетом симметрии объекта нашу задачу лучше рассматривать в цилиндрической системе координат с центром в точке \vec{r}_1 , для чего необходимо учесть связь цилиндрических с декартовыми координатами

$$\begin{aligned} x - x_1 &= \rho'_1 \cos \phi'_1, \quad y - y_1 = \rho'_1 \sin \phi'_1, \quad z - z_1 = z'_1, \\ x_0 - x_1 &= \rho_{01} \cos \phi_{01}, \quad y_0 - y_1 = \rho_{01} \sin \phi_{01}, \quad z_0 - z_1 = z_{01}. \end{aligned} \quad (4)$$

Пользуясь малостью нелинейного включения, в интегральном уравнении (3) можно, не совершая большой погрешности, вынести множители, характеризующие нелинейные свойства, за знаки интегралов в точке \vec{r}_1 , представив уравнение в виде

$$E(\vec{r}_0, t_0) = E_0(\vec{r}_0, t_0) - \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{\partial^2 D_1(E(\vec{r}_1, t_1), \vec{r}_1, t_1)}{\partial t_1^2} + \frac{\partial j_1(E(\vec{r}_1, t_1), \vec{r}_1, t_1)}{\partial t_1} \right] \cdot I, \quad (5)$$

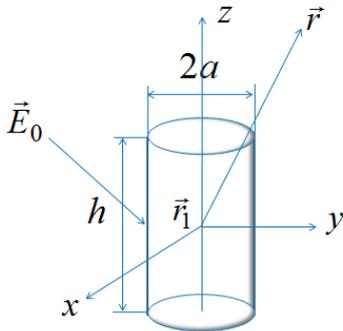


Рис. 1. Геометрия задачи

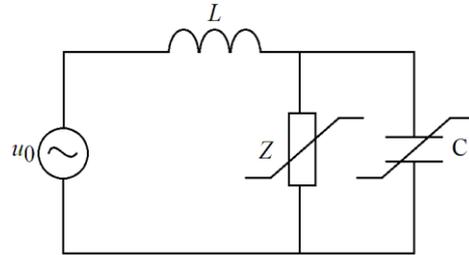


Рис. 2. Эквивалентная схема, соответствующая задаче рассеяния поля сосредоточенным нелинейным объектом

где $t_1 = t_0 - |\vec{r}_0 - \vec{r}_1|/v$, а величина I представляет собой оставшийся интеграл по объему, который с учетом преобразования координат (4) может быть представлен как

$$I = \int_0^a \rho'_1 d\rho'_1 \int_0^{2\pi} d\varphi'_1 \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{dz'_1}{\sqrt{(\rho'_1)^2 + \rho_{01}^2 - 2\rho'_1\rho_{01} \cos(\varphi'_1 - \varphi_{01}) + (z'_1)^2 + z_{01}^2 - 2z'_1z_{01}}} \quad (6)$$

В типичных задачах электродинамики излучающих систем [3] для определения характеристик излучателя традиционно сначала находится распределение тока на апертуре в зависимости от приложенной к антенне ЭДС (внутренняя электродинамическая задача). Затем, на основе известного распределения тока, ищется создаваемое антенной поле преимущественно в дальней зоне (внешняя электродинамическая задача). В случае же нашей задачи источником процессов на нелинейном объекте является падающая на него волна. В соответствии с традицией рассмотрим отдельно случаи, когда точка наблюдения находится вблизи нелинейного объекта и значительно удалена от него.

Внутренняя электродинамическая задача характеризуется условием $|\vec{r}_0 - \vec{r}_1| \ll |\vec{r} - \vec{r}_1|$. Воспользовавшись определением ряда Тейлора для произвольной бесконечно дифференцируемой функции $f(x)$ в окрестности точки a

$$f(x) \approx f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \dots + \frac{f^n(a)}{n!}(x-a)^n + \dots$$

разложим множитель $1/\sqrt{(\rho'_1)^2 + \rho_{01}^2 - 2\rho'_1\rho_{01} \cos(\varphi'_1 - \varphi_{01}) + (z'_1)^2 + z_{01}^2 - 2z'_1z_{01}}$ в ряд Тейлора с учетом условий $\rho_{01} \ll \rho'_1$, $z_{01} \ll z'_1$ и $\frac{h}{2} \gg a$, получая

$$\begin{aligned}
 I &= \int_0^a \rho_1' d\rho_1' \int_0^{2\pi} d\phi_1' \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{dz_1'}{\sqrt{(\rho_1')^2 + (z_1')^2}} \left(1 + \frac{2\rho_1'\rho_{01} \cos(\phi_1' - \phi_{01}) - \rho_{01}^2 - z_{01}^2 + 2z_1'z_{01}}{2((\rho_1')^2 + (z_1')^2)} \right) \approx \\
 &\approx 2\pi \left(\frac{h}{2} \sqrt{(h/2)^2 + a^2} + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{(h/2)^2 + a^2} + h/2}{\sqrt{(h/2)^2 + a^2} - h/2} \right| \cdot (a^2 + \rho_{01}^2 + z_{01}^2) - \frac{h^2}{4} - z_{01}h \right) \approx \\
 &\approx \pi a^2 \left(1 + 2 \ln \left(\frac{h}{a} \right) \right).
 \end{aligned}$$

Эта оценка получена в предположении, что поле сосредоточено вблизи поверхности нелинейного объекта. Вид этой функции зависит также от формы объекта.

Таким образом, поле на поверхности объекта, вычисленное по формуле (5), имеет вид

$$E(\vec{r}_1, t_1) = E_0(\vec{r}_1, t_1) - \frac{\mu_0 a^2}{4} \left(1 + 2 \ln \left(\frac{h}{a} \right) \right) \left[\frac{\partial^2 D_1(E(\vec{r}_1, t_1), \vec{r}_1, t_1)}{\partial t_1^2} + \frac{\partial j_1(E(\vec{r}_1, t_1), \vec{r}_1, t_1)}{\partial t_1} \right]. \quad (7)$$

Внешняя же электродинамическая задача, т.е. случай $|\vec{r}_0 - \vec{r}_1| \gg |\vec{r} - \vec{r}_1|$, приводит к разложению в предположении $\rho_{01} \gg \rho_1'$, $z_{01} \gg z_1'$, и

$$I \approx \int_0^a \rho_1' d\rho_1' \int_0^{2\pi} d\phi_1' \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \frac{dz_1'}{\sqrt{z_{01}^2 + \rho_{01}^2}} \left(1 + \frac{2\rho_1'\rho_{01} \cos(\phi_1' - \phi_{01}) - (\rho_1')^2 + 2z_1'z_{01} - (z_1')^2}{2(z_{01}^2 + \rho_{01}^2)} \right)$$

В результате

$$I \approx \frac{\pi a^2 h}{\sqrt{z_{01}^2 + \rho_{01}^2}} + \frac{1}{2(\rho_{01}^2 + z_{01}^2)^{3/2}} \left[-2\pi h \frac{a^4}{4} - \frac{\pi a^2 h^3}{12} \right] \approx \frac{\pi a^2 h}{\sqrt{z_{01}^2 + \rho_{01}^2}} = \frac{\pi a^2 h}{|\vec{r}_0 - \vec{r}_1|}.$$

Таким образом, поле в точке приема, вычисленное по формуле (5),

$$E(\vec{r}_0, t_0) = E_0(\vec{r}_0, t_0) - \frac{\mu_0 V}{4\pi |\vec{r}_0 - \vec{r}_1|} \left[\frac{\partial^2 D_1(E(\vec{r}_1, t_1), \vec{r}_1, t_1)}{\partial t_1^2} + \frac{\partial j_1(E(\vec{r}_1, t_1), \vec{r}_1, t_1)}{\partial t_1} \right], \quad V = \pi a^2 h,$$

представляет собой результат суперпозиции прямой волны, непосредственно распространяющейся из источника в приемник, и рассеянной нелинейным объектом волны, распространяющейся в точку приема с задержкой и сферической расходимостью, характерной для малых объектов.

Эквивалентная схема процессов на нелинейном объекте

Уравнению (7) можно придать простую физическую интерпретацию. Для этого домножим обе части этого уравнения на длину нелинейного объекта h и введем обозначения, имеющие следующий физический смысл:

$u_0(t_1) = E_0(r_1, t_1)h$ – электродвижущая сила (ЭДС), наведенная падающим излучением на нелинейности,

$u(t_1) = E(r_1, t_1)h$ – падение напряжения, наведенное на нелинейном элементе,

$I(u) = j_1(E) \cdot S$ – ток, наведенный на нелинейном объекте, где $S = \pi a^2$ – площадь поперечного сечения нелинейного объекта.

Считаем, что зависимость $D_1(E)$ эквивалентна зависимости $\varepsilon(E)$

$$D_1(E) = \varepsilon_0 \varepsilon(E) E = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon(u) u}{h}.$$

Тогда, умножив обе части уравнения на S , получим

$SD_1(E) = Q(u) = C(u)u$, где величина $Q(u)$ представляет собой эквивалентный заряд (вольт-кулоновская характеристика), а выражение для вольт-фарадной характеристики

$$C(u) = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon(u) S}{h}$$

аналогично формуле емкости плоского конденсатора.
С учетом всех обозначений уравнение (7) примет вид

$$u(t_1) = u_0(t_1) - L \cdot \frac{\partial}{\partial t_1} I[u(t_1)] - L \cdot \frac{\partial^2}{\partial t_1^2} (C[u(t_1)]u(t_1)), \quad (8)$$

где величина

$$L = \left(1 + 2 \ln \left(\frac{h}{a} \right) \right) \frac{\mu_0 h}{4\pi} \quad (9)$$

имеет характер и размерность индуктивности, наведенной на нелинейном объекте.

Для сравнения укажем выражение для индуктивности тонкого провода [4]. При постоянном токе и низкой частоте выражение для индуктивности

$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{2l}{r} \right) - \frac{3}{4} \right),$$

где l – длина провода, а r – радиус его поперечного сечения. Данное значение индуктивности приведено без учета магнитного потока внутри провода, т.е. в предположении, что ток распределен по поверхности провода конечной длины. При желании, если учесть магнитный поток внутри провода, к величине L следует прибавить внутреннюю индуктивность провода L_i , для тонкого провода

$$L_i = \frac{\mu_a l}{8\pi}.$$

Для коротких проводов более точное значение можно найти по формуле

$$L = \frac{\mu_a l}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{2l}{r} \right) - \frac{3}{4} + \frac{128}{45\pi} \frac{r}{l} - \frac{r^2}{4l^2} \right).$$

Сходство выражения для эквивалентной индуктивности из выражения (9) с расчетными формулами индуктивностей тонких проводов указывает на физическую обусловленность выведенного нами соотношения с процессами в радиотехнической цепи. Этот факт дает нам возможность использовать подход, основанный на введении эквивалентной схемы, для описания процессов на нелинейном объекте. На основе формулы (8) эквивалентную схему можно представить в виде, изображенном на рис. 2.

Такой эквивалентной схемой обычно пользуются в нелинейной радиолокации при описании рассеяния волн нелинейными устройствами [5]. Это представление также часто встречается при анализе реакции вибратора, нагруженного на нелинейность типа нелинейный контакт или диод. В отличие от традиционного подхода уравнение (9) получено нами не из феноменологических соображений, а на основе асимптотического анализа точных волновых представлений. Отсюда и вытекает решение прямой задачи, которая заключается в нахождении рассеянного нелинейным объектом поля, достаточно лишь задать падающее поле $E_0(\vec{r}_1, t_1)$, вольт-амперную характеристику нелинейного объекта $I(u(t_1))$ и вольт-кулоновскую характеристику $Q(u(t_1))$.

Восстановление вольт-амперной и вольт-кулоновской характеристик сосредоточенной нелинейности

При решении обратной задачи необходимо отыскать характеристики среды на основе данных прямой задачи или данных экспериментально измеренной зависимости рассеянного поля. Восстановление характеристик среды включает в себя нахождение пространственных координат нелинейного объекта и определение его нелинейных свойств. Для установления этой многомерной функции необходимо использовать пространственно-временные характеристики падающего и рассеянного полей. Такая обратная задача в общем случае сложна для решения, поэтому целесообразно разделить ее на задачи определения пространственного положения

объекта и восстановления его нелинейной характеристики. Задача первого типа является задачей томографии. Здесь мы сосредоточимся на рассмотрении задачи второго типа.

Базируясь на уравнении (8), описывающем эквивалентную схему, можно предложить следующий алгоритм решения обратной задачи. Проинтегрируем уравнение (8), приводя его к виду

$$\frac{1}{L} \int_0^t [u_0(t_1) - u(t_1)] dt_1 = I[u(t)] + \frac{\partial}{\partial t} Q(u(t)) \quad (10)$$

Тем самым, зная рассеянное нелинейным объектом поле, можно восстановить комбинацию вольт-амперной и вольт-кулоновской характеристик, которая является «визитной карточкой» нелинейности. Найти отдельно эти две характеристики в общем случае не представляется возможным, поскольку нелинейный объект расположен в одной точке. Но восстановление этих характеристик возможно при использовании априорной информации о зондирующем сигнале и виде нелинейности, что будет продемонстрировано в следующем разделе.

Как известно, операция интегрирования способствует повышению устойчивости вычислительной процедуры, поскольку случайно распределенные погрешности при суммировании взаимно ослабляют друг друга. Поэтому можно надеяться на потенциальную помехоустойчивость предложенного простого алгоритма.

Численное моделирование и анализ результатов. Решение прямой задачи

Для исследования поля, рассеянного сосредоточенным нелинейным объектом, было проведено численное моделирование в системе компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования Mathcad. Решение прямой задачи было реализовано согласно формуле (8) с помощью итерационного процесса. При этом были использованы простейшие алгоритмы вычисления первой и второй производных

$$\frac{df}{dt} \approx \frac{f(t + \Delta t) - f(t)}{\Delta t}, \quad \frac{d^2 f}{dt^2} \approx \frac{f(t + \Delta t) - 2f(t) + f(t - \Delta t)}{(\Delta t)^2}$$

Таким образом, временная зависимость рассеянного на нелинейности поля определяется из решения разностного уравнения с помощью итерационной процедуры

$$v_{i+1}(t_1) = -L \frac{f(u_i(t_1 + \Delta t)) - f(u_i(t_1))}{\Delta t} - L \frac{g(u_i(t_1 + \Delta t)) - 2g(u_i(t_1)) - g(u_i(t_1 - \Delta t))}{(\Delta t)^2},$$

где величина $v_i(t_1) = u_i(t_1) - u_0(t_1)$ описывает i -ую итерацию напряжения, соответствующего рассеянному полю, функция f представляет собой вольт-амперную характеристику (зависимость тока от напряжения), а функция g – заряд, накопленный на нелинейном объекте (вольт-кулоновскую характеристику).

Электромагнитная волна, падающая на нелинейный элемент, была представлена в виде гауссовского импульса [6]

$$u_0(0, t) = u_m e^{-\alpha(t-t_0)^2} \sin \omega_0(t - t_0) \quad (11)$$

где величины $\alpha = 10^{17} \text{ с}^{-2}$, $t_0 = 10^{-8} \text{ с}$, $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 1 \text{ ГГц}$, u_m – характеризуют длительность, частоту заполнения и амплитуду импульса соответственно (рис. 3).

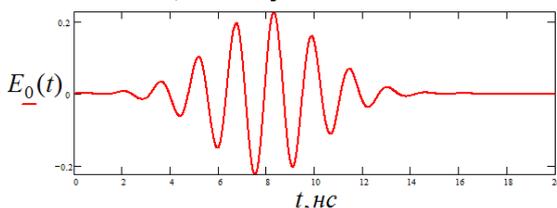


Рис. 3. Гауссовский импульс.

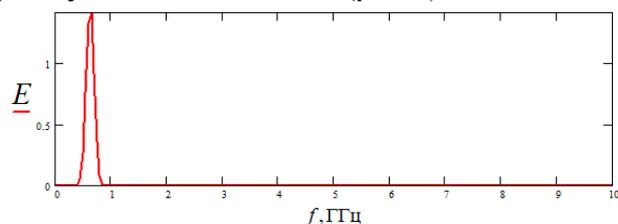


Рис. 4. Спектр импульса.

Спектр гауссовского импульса, полученный с использованием встроенной в систему Mathcad функции быстрого преобразования Фурье fft , представлен на рис. 4.

В качестве модели для исследования были использованы нелинейные характеристики выпрямительного диода (Germanium Diode GD402A, GD402B). Его вольт-амперная характеристика (рис. 5) рассчитывается по формуле

$$I(u) = I_0 \left(e^{\beta u} - 1 \right)$$

с параметрами $\beta = \frac{1}{\varphi}$, $\varphi = 0.026$ В, $I_0 = 1 \cdot 10^{-4}$ А – ток насыщения.

Вольт-кулоновская характеристика при учете барьерной емкости (рис. 6) имеет вид [7]

$$Q(u) = S \sqrt{\frac{2q\varepsilon\varepsilon_0 N_a N_d (u_k - u)}{(N_a + N_d)}}.$$

Использованы следующие значения входящих параметров [8]:

$q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона, $\varepsilon = 12$ – относительная диэлектрическая проницаемость германия, $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная, $N_a = 4 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ – концентрация акцепторов, $N_d = 4 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ – концентрация доноров, $u_k = 0.391$ В – контактная разность потенциалов, $S = 10^{-6} \text{ м}^2$ – площадь p-n перехода.

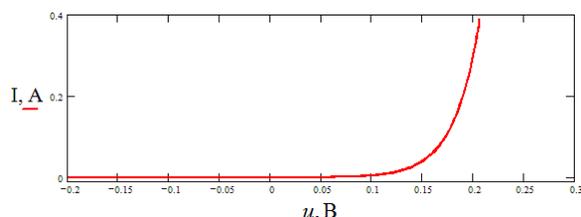


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода.

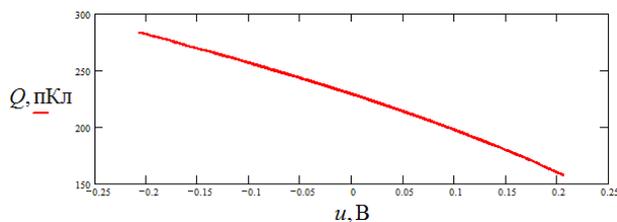


Рис. 6. Вольт-кулоновская характеристика.

Рассмотрим процессы преобразования формы импульса и его спектрального состава в результате взаимодействия волны с нелинейным объектом. Для этого представим результаты расчета нескольких первых итераций рассеянного поля, демонстрирующих многократное взаимодействие поля с полупроводниковым диодом. Для выделения влияния вольт-амперной и вольт-кулоновской характеристик на рис. 7, 9 представлены результаты при учете только вольт-амперной характеристики, а на рис. 8, 10 – совместный учет двух нелинейных характеристик. Все величины нормированы на максимум величины и даются в относительных единицах.

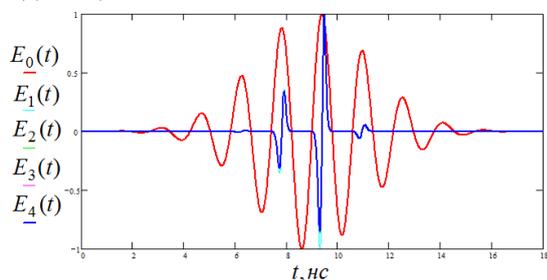


Рис. 7. Временная зависимость поля, рассеянного выпрямительным диодом без учета емкости.

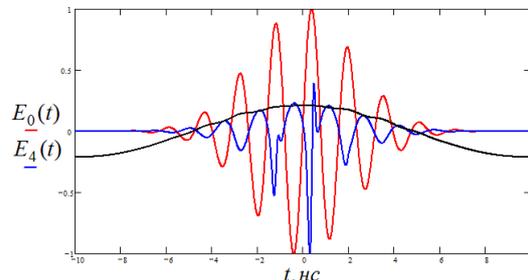


Рис. 8. Временная зависимость поля, рассеянного выпрямительным диодом с учетом емкости.

Отметим интересный эффект: рассеянный сигнал отличен от нуля только на тех участках, на которых падающий импульс имеет положительные значения. Таким образом проявляются выпрямительные свойства полупроводникового диода. Также имеет место значительное

сужение рассеянного импульса по сравнению с исходным.

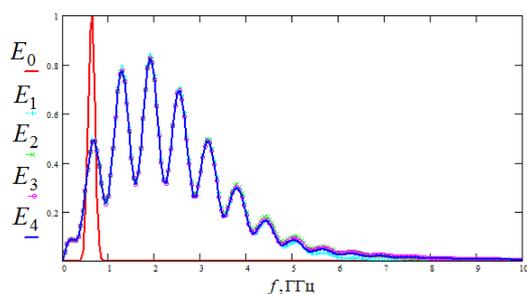


Рис. 9. Спектр рассеянного поля для выпрямительного диода без учета емкости.

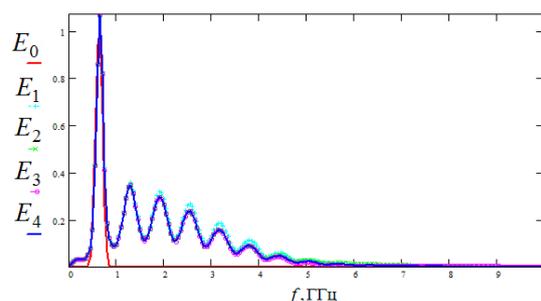


Рис. 10. Спектр рассеянного поля для выпрямительного диода с учетом емкости.

Приведенные графики спектра сигнала, рассеянного выпрямительным диодом, показывают, что уменьшение длительности исходного импульса, соответствующее сверхширокополосному излучению, приводит к существенному расширению спектрального диапазона, что может быть использовано при создании генераторов терагерцового диапазона. Кроме того, имеет место исчезновение дискретности гармоник рассеянного сигнала и образование сплошного спектра в большой полосе частот (сигнал, соответствующий окрашенному шуму). По графикам спектра можно сказать, что при учете емкости в диоде, он проявляет себя как фильтр нижних частот.

Рис. 8 демонстрирует необычный эффект: при отрицательных полупериодах исходного сигнала рассеиваемый сигнал положителен, в то время как привычным было бы ожидание либо нулевого сигнала (выпрямление), либо спадающего (за счет экстракции накопленного емкостью заряда). Объяснение этого эффекта возможно с использованием эквивалентной схемы (рис. 2). При положительном полупериоде сигнала диод имеет малое нелинейное сопротивление, и ток, в основном, течет через этот эквивалентный резистор. При обратном напряжении сопротивление становится большим, и резистор «выключается» из цепи, которая становится LC -колебательным контуром с собственной частотой $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$. Для подтверждения на рис. 8 черной кривой изображен гармонический сигнал с частотой ω_0 , который совпадает с максимумами рассеянного сигнала.

Сравнение рис. 7 и 8 дает возможность визуально разделить влияние на сигнал вольт-амперной характеристики на положительных полупериодах исходного сигнала и вольт-кулоновской характеристики на отрицательных полупериодах. Этот факт можно использовать в качестве априорной информации для отдельного восстановления двух нелинейных характеристик.

Решение обратной задачи

Восстановление нелинейной вольт-амперной характеристики производилось по алгоритму, изложенному в восстановление вольт-амперной и вольт-кулоновской характеристик сосредоточенной нелинейности, для выбранной ранее модели нелинейности. На рис. 11, 12 представлены результаты восстановления вольт-амперной и комбинированной характеристик, где красной кривой показан заданный вид нелинейной зависимости, а синим цветом показаны восстановленные значения.

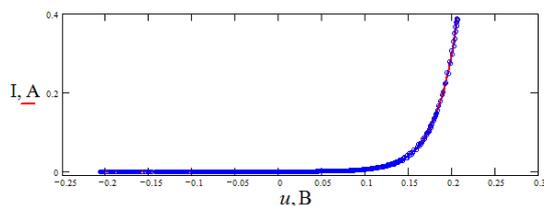


Рис. 11. Восстановленная вольт-амперная характеристика выпрямительного диода без учета емкости.

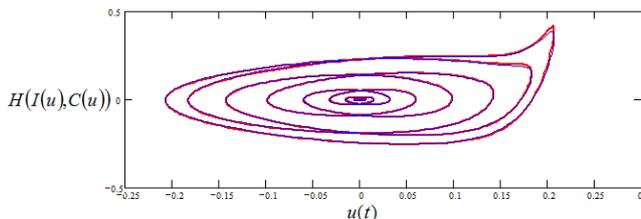


Рис. 12. Восстановленная комбинация вольт-амперной и вольт-кулоновской характеристик.

Предложенный алгоритм восстановления не может быть использован для получения вольт-амперной и вольт-кулоновской характеристик по отдельности, но возможно восстановить их в совокупности, в виде функции $H(I[u(t)], Q[u(t)]) = I[u(t)] + \frac{\partial}{\partial t} Q[u(t)]$. Цикличность и фрактальность зависимости на рис. 12 объясняется более сложной зависимостью нелинейной характеристики: кроме зависимости от величины импульса $u(t)$ присутствует зависимость от производной $u'(t)$ по времени.

Учет этого обстоятельства, а также информации о форме падающего сигнала – гауссовском импульсе (11), позволяет раздельное восстановление вольт-амперной и вольт-кулоновской характеристик. Подстановка (11) в выражение для $H(I[u(t)], Q[u(t)])$ дает

$$\begin{aligned} H(I[u_0(t)], Q[u_0(t)]) &= I[u_0(t)] + \frac{\partial Q}{\partial u_0} u_m e^{-\alpha(t-t_0)^2} \cdot \\ &\cdot [-2\alpha(t-t_0) \sin \omega_0(t-t_0) + \omega_0 \cos \omega_0(t-t_0)] = \\ &= I[u_0(t)] + \frac{\partial Q}{\partial u_0} \left[-2\alpha(t-t_0)u_0(t) + \omega_0 \sqrt{\left(u_m e^{-\alpha(t-t_0)^2} \right)^2 - u_0^2(t)} \right]. \end{aligned}$$

Выражение в квадратных скобках представляет собой уравнение эллипсов, расширяющихся за счет множителя $(t-t_0)$. Таким образом, в случае гауссовского импульса или гармонического сигнала функция $H(I[u(t)], Q[u(t)])$ представляет собой вольт-амперную характеристику $I[u(t)]$, на которую наложены эллипсы, параметры которых определяются вольт-кулоновской характеристикой. Поскольку точки эллипсов равномерно распределены с обеих сторон от их осей, то применение различных процедур усреднения позволяют выделить сначала вольт-амперную характеристику $I[u(t)]$, а затем, после ее вычитания и повторного интегрирования выражения (10), и вольт-кулоновскую характеристику объекта. На рис. 13, 14 показана возможность восстановления нелинейных характеристик диода с помощью встроенной в систему Mathcad процедуры полиномиальной регрессии.

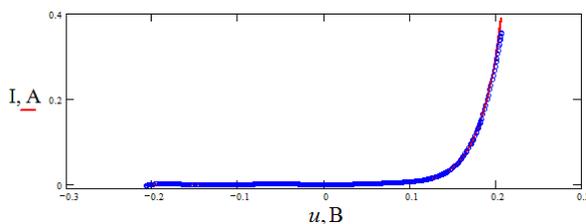


Рис. 13. Восстановленная вольт-амперная характеристика с применением регрессии.

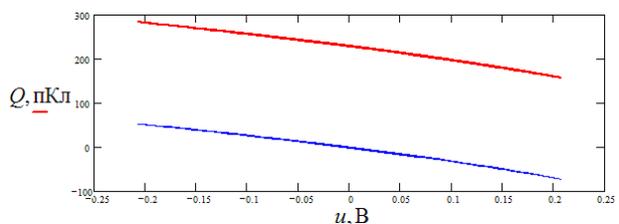


Рис. 14. Восстановленная вольт-кулоновская характеристика.

Рис. 14 показывает, что вольт-кулоновская характеристика восстановлена со смещением. Это объясняется тем, что вольт-кулоновская характеристика в отличие от вольт-амперной при $t=0$ и, следовательно, $u=0$ не равна нулю. Поэтому восстановление возможно с точностью до постоянной интегрирования $Q[0]$.

Хотя предложенный алгоритм ориентирован на определение вида плавно меняющихся зависимостей, но результаты восстановления более резкой функциональной зависимости (характеристика выпрямительного диода) демонстрируют эффективность предложенного подхода. Однако в случае резкого изменения ВАХ необходимо с помощью увеличения амплитуды зондирующего импульса добиться «раскрытия» исследуемой нелинейности, что будет, вообще говоря, сопряжено со значительными энергетическими затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старовойтова Р.П., Пономарева В.Н. Функция Грина. – Томск: Изд. ТГУ, 1984. – 70 с.
2. Михлин С.Г. Вариационные методы в математической физике. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-лит., 1970. – 562 с.
3. Бардашов Д.С., Лосев Д.В. Рассеяние электромагнитных волн сосредоточенной нелинейностью // Известия Вузов. Физика, 2006, № 3. Приложение. – С. 99-100.
4. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей: справочная книга. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 488 с.
5. Нелинейные электромагнитные волны / Под ред. П.Усленги. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
6. Якубов В.П., Лосев Д.В., Мальцев А.И. Диагностика нелинейностей по возмущениям рассеянного поля // Известия вузов. Радиофизика, 2000, Т. 43, № 7. – С. 645-651.
7. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.
8. Малянов С.В., Калыгина В.М. Сборник задач по физике биполярных полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – Томск: НТЛ, 2008. – 112 с.

Сведения об авторах:

Быков А.Г.: г. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

Лосев Д.В.: г. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

Бардашов Д.С.: г. Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет.

УДК 621.391.244

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ФОКУСИРОВКА СШП СИГНАЛОВ (SPATIAL FOCUS FOR UWB SIGNALS)

В.П.Якубов, С.Э. Шипилов, И.С.Цепляев
V.P.Yakubov, S.E. Shipilov, I.S.Tsepliaev

Национальный исследовательский томский государственный университет
E-mail: s.shipilov@gmail.com

Тестирование метода фокусировки во временной области и его аналога – метода радиоволнового томосинтеза в частотной области по критерию уровня артефактов в восстанавливаемом радиоизображении тестового объекта. Для проверки рассматривается численная модель разработанной на кафедре радиопизики Томского государственного университета плоской тактируемой неэквидистантной антенной решетки.

(Method of focus in the time domain and its analogue, a method of radiowave tomosynthesis in the frequency domain by the criterion of level artifacts in the reconstructed radio images of the test object are compared. To verify the advantages of focus in the time domain method numerical model of clocked nonequidistant flat antenna array has been developed at the Department of Radio Physics at Tomsk State University.)

Ключевые слова:

Радиотомография, сверхширокополосное зондирование, синтезирование апертуры, фокусировка излучения, антенная решетка.

(Radiotomography, an ultra-wideband sensing, synthetic aperture, focusing the radiation antenna array).

Введение

Одним из перспективных направлений СШП радиолокации является создание радиолокаторов малой дальности для обнаружения людей за радиопрозрачными препятствиями (в завалах, за стенами зданий), а также оперативного контроля качества дорожных покрытий и насыпей. Подобные исследования активно ведутся различными научными группами в России и зарубежом [1,2]. При этом, обобщая существующие публикации, следует отметить, что важными характеристиками разрабатываемых радиолокаторов являются их мобильность, малогабаритность, возможность одностороннего доступа, а также простота в использовании: включил – получил изображение. Широко используемые в настоящее время типовые георадары здесь неприменимы, поскольку не обеспечивают в должной мере требуемые характеристики, такие как оперативность и разрешающая способность. Поэтому требуется создание новых систем, построенных на основе многоэлементных решеток с использованием алгоритмов получения радиоизображений высокого разрешения в режиме реального времени. Наиболее перспективным с этой точки зрения представляется подход, основанный на программно-аппаратной фокусировке СШП излучения [3, 4]. Фокусировка осуществляется путем последовательного суммирования принятых сигналов с выравниванием временных задержек импульсов, рассеянных точкой с заданными координатами. Полученное при этом радиоизображение имеет разрешающую способность лучше, чем пространственная протяженность зондирующего импульса.

В случае, когда радиоизлучение проникает внутрь такой среды, можно говорить о восстановлении её внутренней структуры по прошедшему или рассеянному полю. Эта структура представляет собой пространственное распределение значений диэлектрической проницаемости. Резкие градиенты изменения этой проницаемости характерны для границ раздела сред или погруженных в них объектов. Типичный пример – поиск скрытых в земле археологических захоронений, инженерных коммуникаций или противопехотных мин. Такого сорта задачи хотя и не являются простыми, но для них разработан целый ряд эффективных решений основанных на использовании явления фокусировки излучения [5,6]. Целью работы

является тестирование метода фокусировки во временной области и его аналога – метода радиоволнового томосинтеза в частотной области по критерию уровня артефактов в восстанавливаемом радиоизображении тестового объекта. Для проверки рассматривается численная модель разработанной на кафедре радиофизики Томского государственного университета плоской тактируемой неэквилидистантной антенной решеткой.

Пространственная фокусировка

Как известно, СШП излучение обладает высоким временным пространственным разрешением. Кроме того, за счет низкочастотных составляющих в спектре зондирующих СШП сигналов обеспечивается высокая проникающая способность за препятствия, что особенно важно для обнаружения скрытых объектов за диэлектрическими препятствиями.

Основная идея обработки СШП данных восходит к технологии синтеза апертуры и программно-аппаратной фокусировки излучения. Фокусировка осуществляется путем последовательного суммирования принятых сигналов с выравниванием временных задержек импульсов, рассеянных точкой с заданными координатами. Для этого необходимо внести в принятый сигнал задержки, соответствующие суммарному времени прохождения сигнала от передатчика до объекта и обратно. Для этого требуется рассчитать время задержки для каждого из импульсов.

При этом все зарегистрированные в различных точках излучения-приема P_j сигналы суммируются в фазе для каждой задаваемой точки фокусировки r с коррекцией существующего запаздывания. В приближении однократного рассеяния, когда излучается сигнал $S_0(t)$, и принятый локационный сигнал формируется как

$$S(r, t) = \sum_j S_0(t - \tau_j) \exp(i\phi_j) \quad (1)$$

При достаточном объеме зарегистрированных данных и коротких зондирующих импульсах эта функция приближается к «размазанной» δ -функции, что позволяет отождествить результаты фокусировки $F(r_1)$ с распределением диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$:

$$F(r_1) \approx \Delta\epsilon(r_1)$$

Эта запись представляет собой приближенное решение задачи томографии. Полученное решение по сути своей представляет собой некое интерференционное поле, имеющее максимумы в точках истинного положения точек рассеяния. В других точках сигналы будут складываться со случайной задержкой, и там будут наблюдаться более низкие значения сфокусированного поля. Результат тем лучше, чем больше независимых слагаемых участвует в фокусировке. Записанное решение обладает исключительной простотой, но реализация требует больших аппаратных ресурсов, поскольку суммирование сигналов приходится осуществлять для каждой точки фокусировки. Использование быстрых алгоритмов позволяет ускорить эту процедуру. Одним из таких подходов является метод радиоволнового томосинтеза (РТ). Данный метод является обобщением метода Фурье–синтеза на случай волновых полей. Однако он разработан на случай моностатической схемы локации. В случае бистатической схемы зондирования качество восстановленного радиоизображения при использовании данного метода может ухудшаться. Ниже будут приведены результаты численного моделирования, позволяющие оценить работоспособность каждого из подходов.

Численное моделирование

В ходе моделирования использовалась решетка с расположением представленное на рисунке 1. Размеры решетки составили 55x44 см. Количество антенных элементов – 37, из которых 24 приемных и 13 передающих антенн. Расположение антенн оптимизировалось по критерию максимального качества радиоизображения. Кроме того, должно было выполняться условие сохранения одинакового расстояния между приемной и передающей антенной при каждом такте переключения. Это условие требовалось для привлечения быстрых алгоритмов обработки сигналов, в частности метода радиоволнового томосинтеза. На рис.1 показано расположение приемных и передающих антенн, где белыми точками отмечены передающие

антенны, черными приемные. При этом в процессе излучения каждой передающей антенны проводился опрос всех ближайших к нему приемных антенн.

В ходе моделирования использовалась решетка с расположение представленное на рисунке 1. Для зондирования выбирался импульс длительностью 0.1 нс. В качестве объекта был выбран ступенчатый треугольник размерами 15×15 см, размер ступеньки $D=5$ см, на расстоянии $R=30$ см рисунок 2. Результат восстановления изображения представляет собой многослойное изображение в котором слои распределены по дальности.

Для зондирования выбирался импульс длительностью 0.1 нс. В качестве объекта был выбран ступенчатый треугольник размерами 15×15 см, размер ступеньки $D=5$ см, на расстоянии $R=30$ см рисунок 2. На рисунке 3 представлены результаты восстановления формы объекта с использованием метода радиоволнового томосинтеза. Показано сечение трехмерной томограммы на расстоянии 30 см до тестового объекта. На рисунке 4 представлена суммарная интенсивность сечений трехмерного радиоизображения по дальности для метода РТ. Для удобства интенсивность изображения в каждом ракурсе пронормированна на интенсивность слоя, в котором находится объект. На рисунке 5 и 6 приведены аналогичные результаты для метода пространственной фокусировки во временной области.

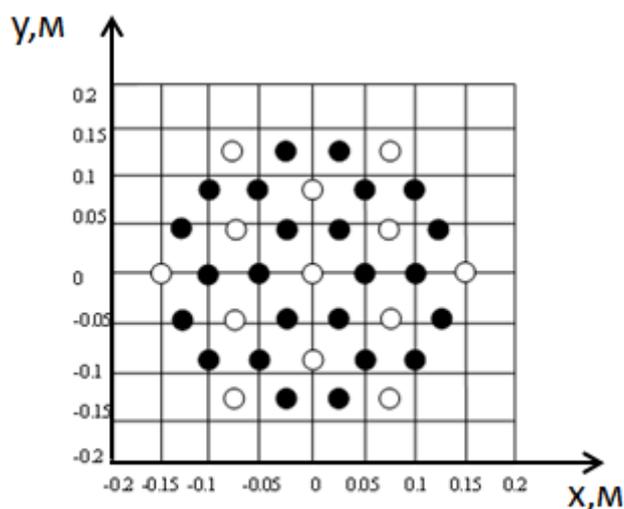


Рис. 1. Расположение антенн

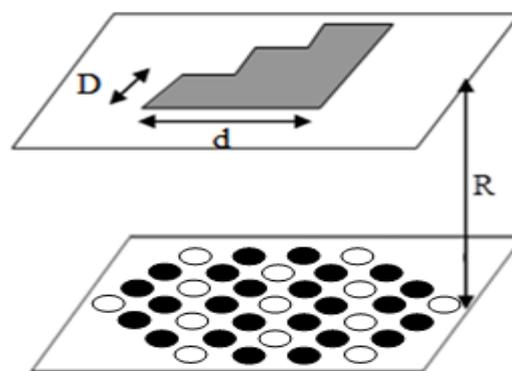


Рис. 2. Геометрия эксперимента

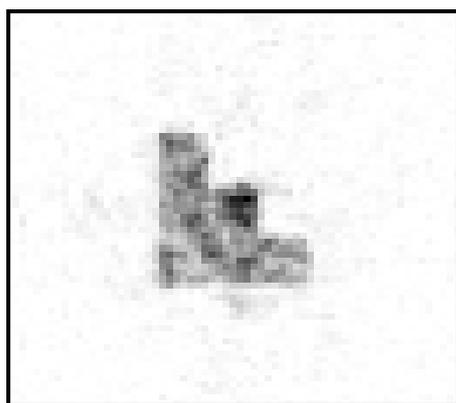


Рис. 3. Восстановленное изображение объекта на дальности 30 см

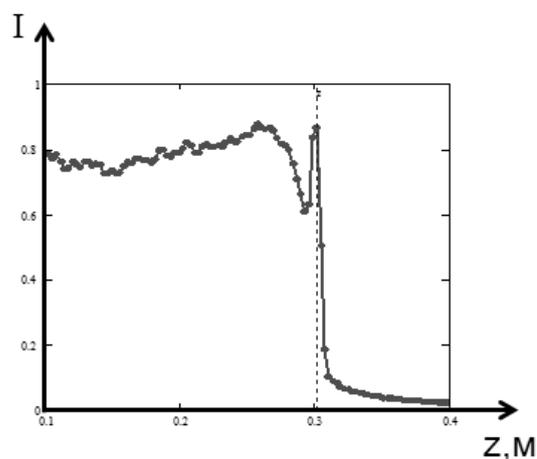


Рис. 4. Суммарная интенсивность радиоизображения по дальности

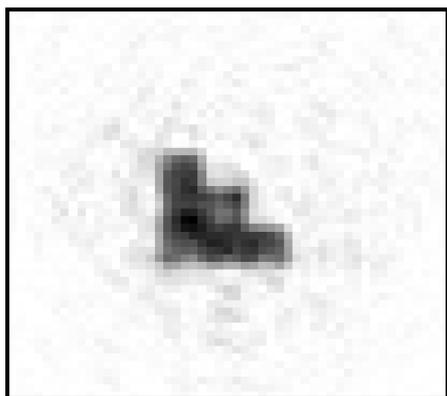


Рис. 5. Восстановленное изображение объекта на дальности 30 см

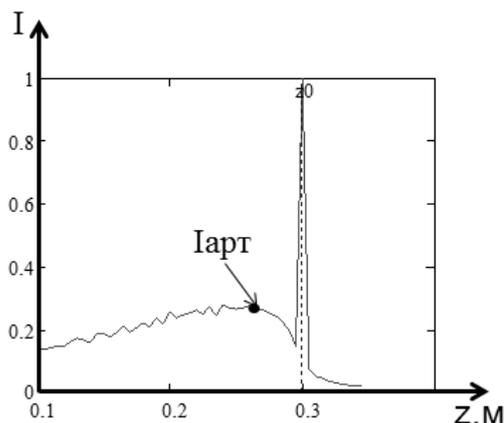


Рис. 6. Суммарная интенсивность радиоизображения по дальности

Сравнение рисунков 3 и 5 показывает, что метод пространственной фокусировки дает более качественное радиоизображение, чем метод РТ. Также величина артефактов в суммарной интенсивности метода РТ значительно превышает величину артефактов суммарной интенсивности метода пространственной фокусировки. Одной из причин худшего качества радиоизображения, полученного методом РТ, можно считать использование бистатической схемы зондирования. Большое количество артефактов говорит о незаполненности антенной решетки, что соответствует малому числу ракурсов. Для увеличения числа ракурсов требуется некоторое механическое перемещение решетки. Наиболее простым решением является вращение антенной решетки вокруг центральной оси. На рисунке 7 показана антенная решетка при трех различных углах поворота на 45° .

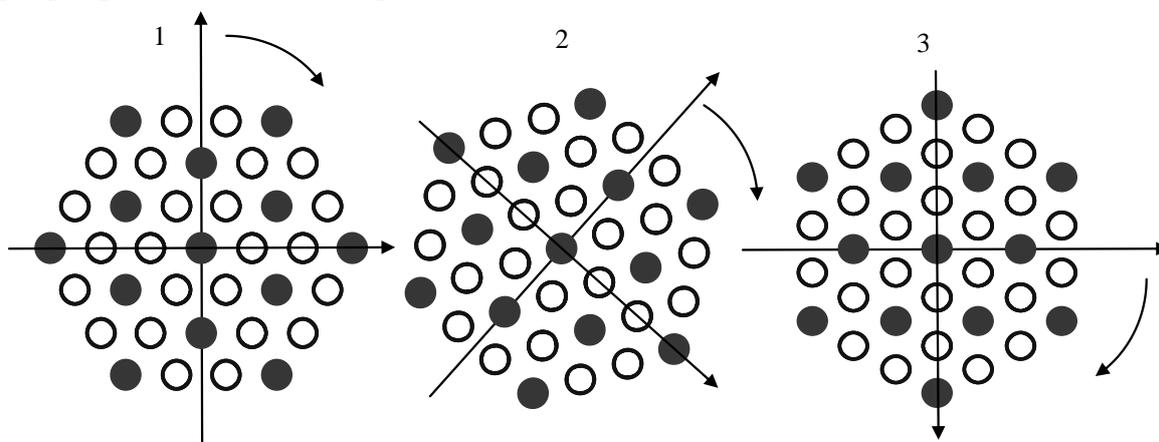
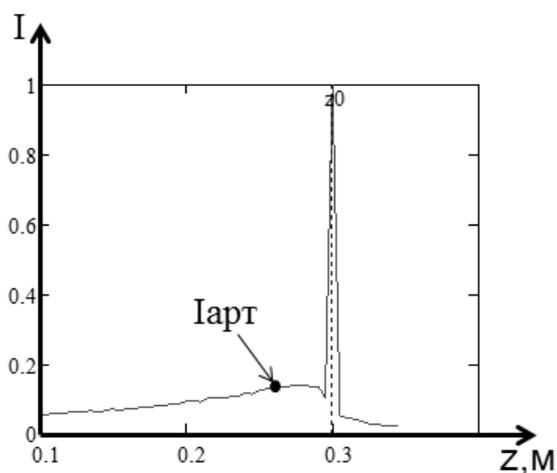
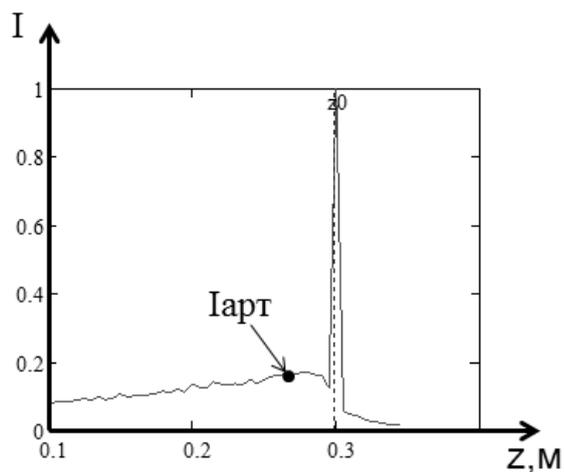


Рис. 7. антенная решетка при трех различных углах поворота на 45°

Было проведено моделирование влияния числа поворотов решетки в диапазоне углов от 0° до 90° в режиме накопления ракурсов на величину артефактов радиоизображения. На рисунке 8 показана суммарная интенсивность сечений трехмерного радиоизображения при различном числе поворотов решетки.



а)

б)

Рис. 8. Суммарная интенсивность радиоизображения а) количество поворотов 2, б) количество поворотов 3

На рисунке 9 представлен график зависимости суммарной интенсивности уровня артефактов, от количества поворотов решетки в диапазоне углов от 0° до 90°. Как видно из рисунка увеличение количества поворотов более двух не приводит к значительному уменьшению уровня артефактов.

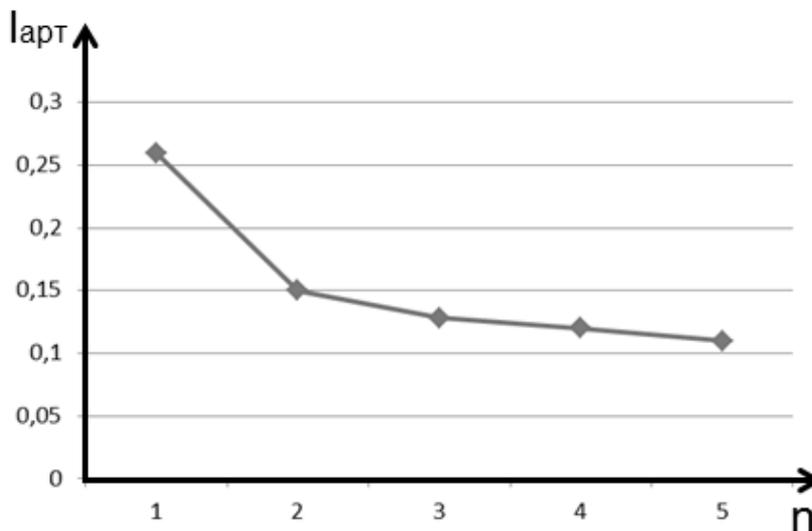


Рис. 9. Суммарная интенсивность уровня артефактов от количества поворотов

Заключение

В работе были проведены численные эксперименты получения радиоизображения тестового объекта при помощи метода пространственной фокусировки и метода радиоволнового томосинтеза. Анализ результатов показал, что метод РТ позволяет использовать быстрые алгоритмы расчета радиоизображения сразу на весь диапазон дальностей, но при этом дает более высокий уровень артефактов, чем метод пространственной фокусировки. При использовании выбранной антенной решетки необходимо увеличить число ракурсов обзора объекта за счет поворота решетки вокруг собственной оси. Увеличение ракурсов за счет поворота решетки на 90° позволяет уменьшить уровень артефактов более чем 1,5 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chunovic, L. QinetiQ North America's offers SPO-7 standoff passive object detection system. Government Security News. Tuesday, 2010-02-02 12:09pm. Online: http://www.gsnmagazine.com/article/20007/qinetiq_north_americas_offers_spo_7 (accessed on January 30, 2012).
2. Hochdorf, E. CWD project presentation. Camero-Inc. 2010 (internal document)
3. SUN Xin, LU BiYing, JIN Tian, ZHOU ZhiMin. Wall Clutter Mitigation in Through-the-Wall MIMO Radar Application.
4. Stolt, R.H., Migration by Fourier transform // Geophysics, 1978, 43, no. 1, 23- 48.
5. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы // Томск: Изд-во НТЛ, 2014. – 264 с.
6. Якубов В.П., Склярчик К.Г., Пинчук Р.В., Суханов Д.Я., Булавинов А.Н., Бевецкий А.Д. Радиоволновая томография скрытых объектов для систем безопасности // Известия высших учебных заведений. Физика. 2008, № 10. – С. 63 – 79.

Сведения об авторах:

Якубов В.П.: Зав. кафедрой радиофизики НИ ТГУ.

Цепляев И.С.: Томск, студент кафедры радиофизики НИ ТГУ.

Шипилов С.Э.: г. Томск, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры радиофизики НИ ТГУ.

УДК 534.6

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОМОГРАФИЯ С КРУГОВЫМ СКАНИРОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОЙ РЕШЁТКОЙ МИКРОФОНОВ (ULTRASOUND IMAGING CIRCULAR SCANNING LINEAR MICROPHONE ARRAY)

Д.Я. Суханов, Н.Н. Ерзакова
D. Sukhanov, N. Erzakova

Национальный исследовательский томский государственный университет
E-mail: sdy@mail.tsu.ru

Предлагается метод трёхмерной ультразвуковой томографии в воздухе на основе линейной решётки микрофонов и одиночного излучателя, вращающихся вокруг исследуемого объекта. Разработана экспериментальная установка на основе линейной решётки из 64 микрофонов, работающая в диапазоне частот от 20 до 30 кГц. Результаты экспериментальных исследований показали возможность восстановления изображений с разрешением порядка 15 мм.

(The method of three-dimensional ultrasound tomography in the air based on the linear array of microphones and single transmitter, revolving around the studied object is proposed in this paper. The experimental setup based on a linear array of 64 microphones working in the frequency range from 20 to 30 kHz is designed. Results of experimental studies are presented demonstrating the possibility of images restoration with a resolution about 15 mm.)

Ключевые слова:

Ультразвуковая томография; многокурсное зондирование; сонар с синтезированной апертурой.

(Ultrasound tomography; multi-angle sounding; synthetic aperture sonar).

Ультразвуковая томография находит широкое применение в дефектоскопии и задачах обнаружения скрытых объектов. Как правило, ультразвуковая томография применяется в плотных средах, в жидкостях, металлах, пластике. Возможно осуществление ультразвуковой томографии через иммерсионные среды [1]. Как правило, зондирование через воздух не осуществляется, поскольку волны, распространяющиеся в воздухе практически полностью отражаются от поверхности плотных объектов и не проникают внутрь. Однако ультразвук в воздухе проникает через тонкие преграды – ткань или упаковочные материалы. Таким образом, ультразвук может применяться для задач досмотра людей в пунктах пропуска. Помимо этого, ультразвук в воздухе может использоваться для физического моделирования радиоволновых томографических систем.

Для ускорения процесса зондирования целесообразно использовать одиночный излучатель и множество приёмников, сигнал с которых оцифровывается параллельно. Для восстановления трёхмерного изображения рассеивающих объектов необходимо осуществить измерения в трёхмерном пространстве параметров. Например, зондирование может осуществляться путём сканирования локатором на двумерной поверхности и на различных частотах [2]. Аналогичная схема может применяться для визуализации источников звука [3-6] при условии сохранения пространственной когерентности. Двумерное пространственное сканирование требует значительного времени на измерения. Вместо этого возможно применение двумерных решёток микрофонов. Однако данное решение технически сложно и дорогостояще. Использование линейной решётки микрофонов со сканированием по одной оси является компромиссным решением позволяющим осуществлять сканирование с приемлемой скоростью и не требует применения сложных технических решений. Предлагается применить линейную решётку с закреплённым, в центре на ней излучателем. Данная решётка вращается вокруг исследуемого объекта и осуществляет локационное зондирование в широкой полосе частот. По данным локационного зондирования необходимо восстановить трёхмерное изображение рассеивающего объекта.

Предлагается схема широкополосного ультразвукового зондирования представленная на рисунке 1.

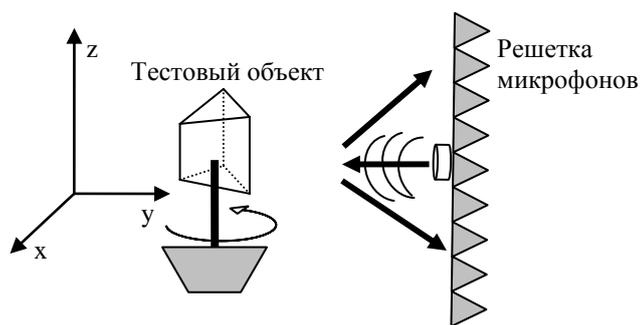


Рис. 1. Схема ультразвуковых измерений

Линейная решётка микрофонов располагается вертикально, а в её центре устанавливается излучатель. Исследуемый объект располагается на вращающейся платформе. Ось вращения объекта располагается на расстоянии от линейной решётки микрофонов. Излучатель и микрофоны в решётке имеют широкую диаграмму направленности. Излучатель облучает объект сигналом с линейной частотной модуляцией с полосой частот от f_1 до f_2 . Рассеянные волны попадают в решётку микрофонов и оцифровываются. Результат измерений представим в виде функции $S(z, \varphi, t)$, где z – высота размещения микрофона в приёмной решётке, φ – угол поворота исследуемого объекта, t – время. С помощью преобразования Фурье производится переход в частотную область, в которой данные измерения представим в виде комплексной функции $U(z, \varphi, \omega)$, где ω – циклическая частота.

Запишем решение прямой задачи в приближении однократного рассеяния. Поле в области измерения по заданному распределению рассеивателей вычисляется по формуле:

$$U(z, \varphi, \omega) = \iiint_V p(x', y', z') \frac{\exp(ik|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0| + ik|\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0||\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|} dx' dy' dz', \quad (1)$$

где $p(x', y', z')$ – распределение рассеивающих неоднородностей; $\mathbf{r} = (x' y' z')$ – точка на рассеивающем объекте; $\mathbf{r}_0 = (R \cos \varphi, R \sin \varphi, 0)$ – координата излучателя; $\mathbf{r}_1 = (R \cos \varphi, R \sin \varphi, z)$ – координата микрофона; R – радиус вращения решетки микрофонов вокруг объекта; $k = \frac{\omega}{c}$ – волновое число, c – скорость звука в воздухе; V – объем размещения рассеивающих неоднородностей.

В данном решении прямой задачи не учитываются постоянные множители, излучатель и приёмник считаются точечными и изотропными.

Для решения обратной задачи воспользуемся методом пространственно – согласованной фильтрации. Согласованный фильтр формируется как реакция системы на точечный рассеиватель [7]. Восстановленное трёхмерное распределение рассеивающих неоднородностей запишем в виде:

$$P(x', y', z') = \int_0^{2\pi} \int_{z_1}^{z_2} \int_{\omega_1}^{\omega_2} U(z, \varphi, \omega) \frac{\exp(-ik|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0| - ik|\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_0||\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|} d\omega dz d\varphi, \quad (2)$$

где $P(x', y', z')$ – восстановленное распределение неоднородностей; z_1, z_2 – пределы размещения микрофонов по оси z ; $\omega_1 = 2\pi f_1$ – нижняя частота зондирующего сигнала; $\omega_2 = 2\pi f_2$ – верхняя частота зондирующего сигнала.

Решение (2) требует значительных вычислительных ресурсов, поскольку численно реализуется через шесть вложенных циклов операций комплексного умножения и сложения. Для ускорения вычисления интеграла (2) предлагается привести к виду интеграла свертки, который может быть вычислен на основе алгоритма быстрого преобразования Фурье. Благодаря однородности измерения по углу интеграл (2) является интегралом свертки по φ . В приближении, что R много больше z интеграл по z также сводится к интегралу свертки.

Предложенный метод был проверен на численной модели квадрата со стороной 128 мм при зондировании в воздухе ультразвуковыми волнами в диапазоне частот от 2 до 30 кГц. На рисунке 2 представлен результат численного моделирования косинусной квадратуры поля в микрофонах на частоте 20 кГц.

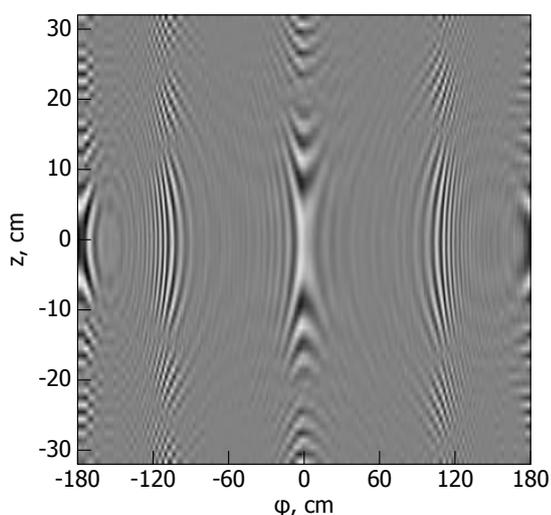


Рис. 2. Численная модель поля в приёмнике на частоте 20 кГц

Максимумы поля на результате численного моделирования прямой задачи соответствуют граням квадрата. С помощью обработки смоделированного результата измерений методом пространственно-согласованной фильтрации на одной частоте 20кГц было восстановлено изображение квадрата показано на рис. 3.

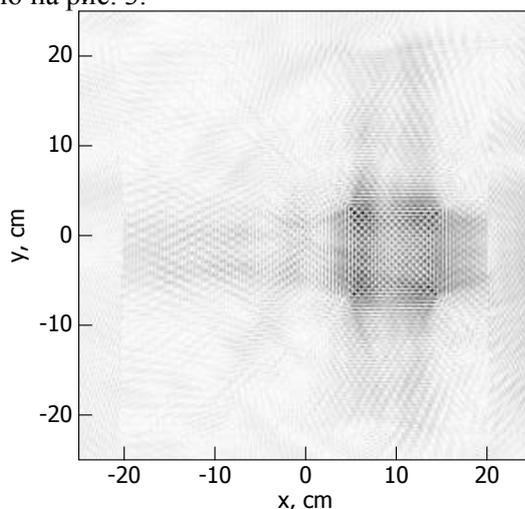


Рис. 3. Результат восстановления на одной частоте 20 кГц

При обработке на одной частоте восстановленное изображение объекта искажено, однако можно судить о его наличии. Для повышения качества восстанавливаемого изображения необходимо произвести широкополосную обработку. После обработки методом пространственно - согласованной фильтрации в диапазоне частот от 2 до 30 кГц было восстановлено изображение квадрата представленная на рис. 4.

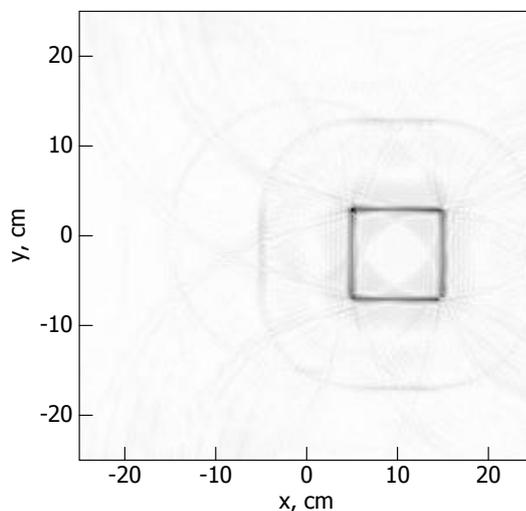


Рис. 4. Восстановленное изображение квадрата при обработке в полосе частот от 2 до 30 кГц

За счёт широкой полосы зондирующего сигнала получено разрешение порядка 6 мм. Таким образом, разрешение в плоскости XOY обеспечивается за счёт широкополосного сигнала, и сканирования по углу.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана установка (рис. 5) из линейной решётки микрофонов.



Рис. 5. Фотография экспериментальной установки

Линейная решётка микрофонов состоит из 64 электретных микрофонов EM9767, расположенных с шагом 1 см. Микрофоны установлены в линейной решётки в отдельных модулях по 8 штук, всего модулей 8. В каждом модуле установлен 8-ми канальный мультиплексор 74НС4051, который обеспечивает подключение одного из микрофонов к

усилителю на основе биполярного транзистора BC547C. Сигнал с усилителя поступает на один из входов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера STM32F407. Всего у микроконтроллера задействовано 8 каналов АЦП, по одному на каждый модуль. Частота оцифровки каждого канала 100кГц. Оцифрованные сигналы микроконтроллер передает в персональный компьютер для дальнейшей обработки. На линейной решётке микрофонов в центре установлен ультразвуковой излучатель W06A. На излучатель с микроконтроллер, а через усилитель поступает линейно-частотный модулированный сигнал с полосой частот от 20 до 30кГц. Решётка микрофонов располагается вертикально, а на против неё на расстоянии R расположена вращающаяся платформа управляемая шаговым двигателем. На вращающейся платформе установлен тестовый объект в форме призмы с гранями 20 см, 19 см, 15 см. Весь процесс измерения осуществляется с персонального компьютера, который управляет шаговым двигателем и микроконтроллером. Измерения осуществляются в следующей последовательности: шаговый двигатель поворачивает объект с шагом 1 градус в диапазоне углов от 0 до 360 градусов; в каждой позиции шагового двигателя производится зондирование и измерения рассеянных сигналов решёткой микрофонов.

В результате эксперимента был получен трёхмерных массив данных 64 частот, с 64 микрофонов и для 360 значений угла поворота объекта. Косинусные квадратуры сигналов на частотах 20кГц и 25 кГц представлены на рис.6 и рис.7.

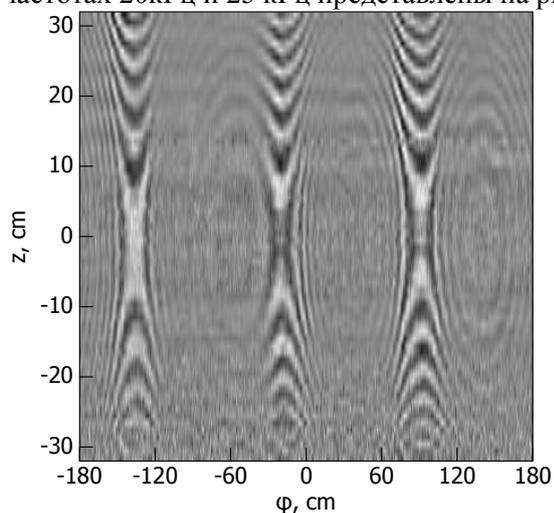


Рис. 6. Косинусная квадратура измеренного сигнала на частоте 20 кГц

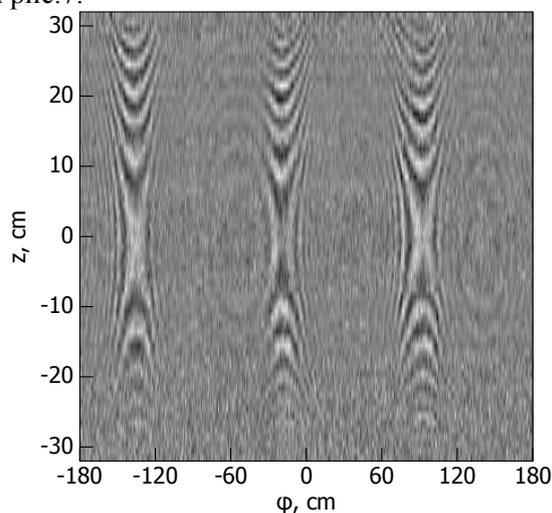


Рис. 7. Косинусная квадратура измеренного сигнала на частоте 25 кГц

На измеренных данных отчетливо наблюдается волновая картина. Видны три максимума сигнала для углов поворота -135 градуса, -15 градуса и 90 градусов. Данные максимумы соответствуют отражению сигнала от плоских граней призмы. В целом полученный сигнал соответствует теоретическим расчетам.

В результате обработки методом пространственно-согласованной фильтрации [4-6] данных измерений было восстановлено изображение тестового объекта, который представлен на рис.8.

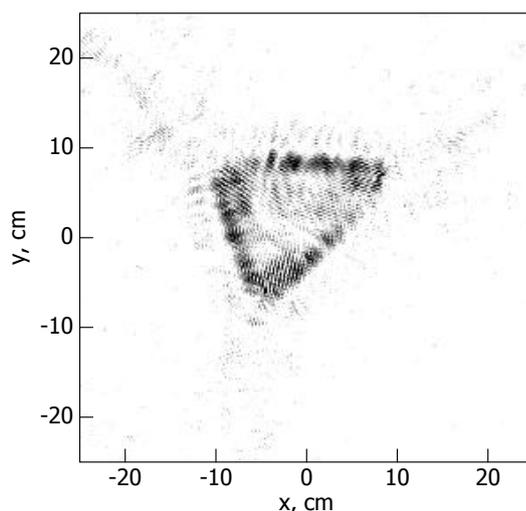


Рис. 8. Восстановленное изображения тестового объекта

На восстановленном изображении можно различить сечения треугольной призмы с разрешением около 15 мм.

На основе совокупности результатов, полученных при исследовании ультразвуковой томографии с угловым сканированием, был предложен с применением матрицы микрофонов и одиночного излучателя. Представлен способ восстановления трёхмерных изображений рассеивающих объектов на основе пространственно-согласованной фильтрации измеренного поля на различных частотах. Результаты численного моделирования и экспериментальных исследований демонстрируют применимость предложенного метода. Экспериментальная установка обеспечивает разрешение порядка 15 мм. Предложенные методы могут быть обобщены на случай радиоволнового зондирования в скалярном приближении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грегуш П. Звуковидение: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 232с
2. M.P. Hayes, P.T. Gough. “Synthetic aperture sonar: a review of current status” IEEE Journal of Oceanic Engineering. 2009. vol.34. № 3. pp.207-224.
3. E.G. Williams, J.D. Maynard, Holographic imaging without the wavelength resolution limit. – Phys. Rev. Lett., 1980, vol. 45, pp. 554–557.
4. P.R. Stepanishen, K.S. Benjamin, “Forward and backward projection of acoustic fields using FFT methods”. – J. Acoust. Soc. Am., 1982, vol. 71, pp. 803–812.
5. D. Ya. Sukhanov, M. A. Kalashnikova Remote “Ultrasonic Defectoscopy of Sound Radiating Objects through the Air”. Acoustical Physics, 2014, vol. 60, No 3, pp. 304–308.
6. Суханов Д.Я., Ермакова Н.Н. Восстановление изображений звукоизлучающих объектов по многопозиционным широкополосным дистанционным измерениям звукового поля // Известия ВУЗов. Физика. – Т. 56. – №8/2. – 2013. – С. 57 – 61.
7. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы: Монография. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. - 264 с.

Сведения об авторах:

Суханов Д.Я.: г. Томск, НИ ТГУ, доцент

Ермакова Н.Н.: г. Томск, НИ ТГУ, студент

UDC: 621.6.07

DEVELOPMENT OF LABORATORY SET-UP FOR STUDYING THE FLOW OF FLUID IN OIL PIPELINE

A. S. Belov, N. V. Kurkan

Tomsk Polytechnic University,
Institute of Cybernetics
E-mail: m9yrizo@mail.ru

This work describes the development of a training set-up designed as a part of oil pipeline for studying the liquid transportation. A 3D model of the pipeline was simulated, and mathematical calculations of geometrical and physical parameters were provided. The experimental oil pipeline was modelled on the base of simulated parameters and calculations, as well as methodological instructions for laboratory work were elaborated.

Key words:

Oil pipeline modeling, liquid transport, oil pumping

Introduction

Modeling of the oil pipeline, the system of pipes, intended for oil and gas pumping, should help solve the following problems. It demonstrates the oil pipeline operation in a lab environment. For another thing, the analytical model provides planning of any pipeline with reasonable accuracy and calculating its basic parameters as well. Moreover, mastering skills at analytical calculations is one of basic skills for graduates with qualification in «Workflow and production automation».

Theoretical background and calculations

Our experimental model consists of two interconnected reservoirs, two pumps, for liquid pumping, and a connecting pipe. Water was used as pumped fluid. All calculations were performed considering water transportation under normal operational conditions. All the mathematical operations and plotting were accomplished using MathCAD. The Autodesk Inventor was used for simulating and drawing this pipeline.

The relevant range of velocity for PVC pipes was predefined as [0.5; 3]. Consider four velocity values (1; 1,5; 2; 2,5) and calculate the corresponding diameters according by following formula

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi W}}$$

where Q is water flow rate, W is average water flow velocity, F is cross section area of a pipe, and d is the pipe diameter. The calculated value of corresponding diameters were presented in Table 1.

Table 1. Calculated values of diameters for different water flow rate

Average water flow velocity, m/s	$W_1 = 1$	$W_2 = 1,5$	$W_3 = 2$	$W_4 = 2,5$
Water flow rate, m ³ /s	$Q_1 = 9 \times 10^{-3}$	$Q_2 = 13 \times 10^{-3}$	$Q_3 = 379 \times 10^{-3}$	$Q_4 = 379 \times 10^{-3}$
Pipe diameter, m	$d_1 = 0,107$	$d_2 = 0,105$	$d_3 = 0,491$	$d_4 = 0,439$

The Q_i values were taken from the table of water usage depending on a pipe diameter. Then, we determined the optimal size of diameter, coming from geometrical considerations of construction and the least losses of pressure (we chose two results). According to the calculated value of d we chose the closest diameter of a standard pipe (it was $d = 0.11$ m) in a reference book. Then, by reverse calculation we calculated actual speed of water in a standard pipe with chosen diameter ($W = 1.789$ m/s). Thus, we get the following water flow velocity:

$$W = \frac{4Q}{\pi d^2}, W = 1,789$$

To determine the flow mode in first pipeline section we calculated the Reynolds number

$$R = \frac{Wd}{\nu}$$

Where W is the average flow velocity; d is the pipe diameter; ν is dynamic viscosity of water (at 20°C)

$$R_e = W \frac{d}{\nu} = 1,96 \times 10^5$$

The value of the Reynolds number obtained is $R_{e1} > R_{ecr} = 2320$, so the flow mode is defined as turbulent. In turbulent flow mode the thickness of laminar sublayer should be calculated as

$$\delta = 34,2 \frac{d}{R^{0,875}} = 8,805 \times 10^{-5}$$

The friction coefficient λ is determined by Nikuradze formula when $K_e = 0,005$:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \log\left(\frac{d}{K_e}\right)\right)^2} = 0,05$$

The resistance coefficient of the PVC pipe was obtained from the table of coefficients. General friction losses in the pipeline were calculated as

$$h_{norm(1-2)} = b_1 * Q^2 = 2,89 \times 10^{-6}$$

where $b_1 = 0,01$ is the resistance coefficient for pipes of the diameter less than 200 mm.

Two cross – sections were chosen: 1-1 (at the 1st reservoir output) and 2-2 (at the 2nd reservoir input). The output pressure was calculated by Bernoulli equation

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{W_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{W_2^2}{2g} + h_{norm(1-2)}$$

where Z_1, Z_2 are heights of the cross–sections, P_1 and P_2 are cross–section pressures, γ is water density of 999,97 kg/m³, g is gravity acceleration, W_1, W_2 are the average flow velocities in corresponding cross–sections, $h_{norm(1-2)}$ are pressure losses, $P_1/\gamma, P_2/\gamma$ is the piezometric head, $(W_1)^2/2g, (W_2)^2/2g$ is the dynamic head.

Table 2. Data for the Bernoulli equation

Z_1, m	Z_2, m	$W_1, m/s$	$W_2, m/s$	$h_{norm(1-2)}, m$	P_1, Pa	P_2, Pa
0	0.5	1.789	1.79	$2,89 * 10^{-6}$	101737.75	?

It provided the calculation of the pump power range necessary for normal work of the pipeline.

The equation of vertical lift performance is written as $H = a + (c + b)Q^2$, where

$$a = (z_2 - z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\gamma}, a = -2,89 * 10^{-6}$$

$b_1 = 0,01$ is the resistance coefficient for pipes of the diameter less than 200 mm.

$$c = \frac{8\left(\frac{1}{d^4}\right) - 8\left(\frac{1}{d^4}\right)}{g \cdot \pi^2}$$

As the diameter is the same through the full length $\rightarrow c = 0$.

The equation of vertical lift performance for this pipeline takes the form as follows:

$$H(Q) = 2,89 \times 10^{-6} + 0,01Q^2$$

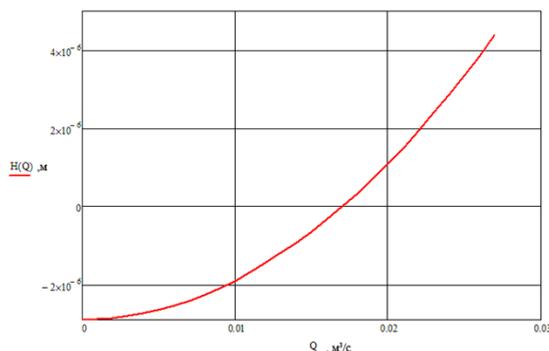


Fig.1. The H–Q Diagram

These values obtained can be considered as reasonable with regard to the geometry of the structure.

Then, external heat losses should be calculated. The flow mode was defined above as the turbulent one, so the necessary tabular values for the turbulent mode such as water heat emission and the Prandtl number were taken from reference books.

Then, the Nusselt number was defined, which characterizes the heat transfer rate between liquid and solid:

$$Nu = 0,021R_e^{0,8} \cdot Pr_g^{0,43} \left(\frac{Pr_g}{Pr_g} \right)^{0,25} = 831,63$$

The coefficient of heat transfer between water and pipe wall was calculated as

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_g}{d} = 4.634 \times 10^3$$

where $\lambda_g = 6.96 \times 10^{-4}$ W/m·deg (reference value) is thermal conductivity of water, d is internal pipe size.

Calculate the coefficient of heat transfer at free convection α_2 and the external heat losses Q_0 .

$$\alpha_2 = 1,17 * \Delta t^{0,25} = 1,54$$

$$Q_0 = \frac{L\Delta t}{\frac{1}{\pi d \alpha_1} + \frac{1}{\pi d_2 \alpha_2} + \frac{\log(d_2/d)}{2.73 \lambda_1}},$$

where L is the pipeline length of 1,2 m, $\lambda_l = 6.96 \times 10^{-4}$ W/m²×deg is thermal conductivity of PVC. Q_0 , heat losses, is 0,179 W.

This suggests that losses turned out small, so that additional insulation is not required.

Computer model and draft

To avoid the pipeline resonance with the surface, two rubber stripes were placed under reservoirs (rubber is one of the most effective damping materials).

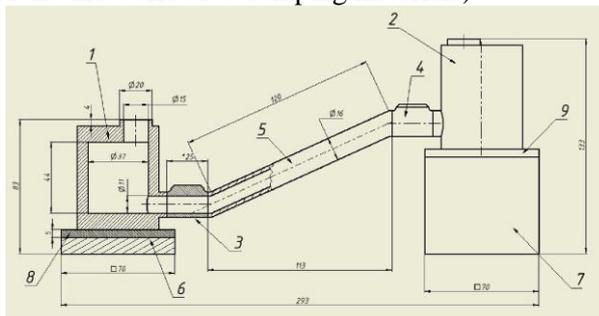


Fig.2. Model draft

- 1 - First reservoir; 2 — Second reservoir; 3 - Pump of the first reservoir; 4 - Pump of the second reservoir; 5 – Pipe; 6, 7 - Lower bases of reservoirs; 8, 9 – Rubber stripes under reservoirs.

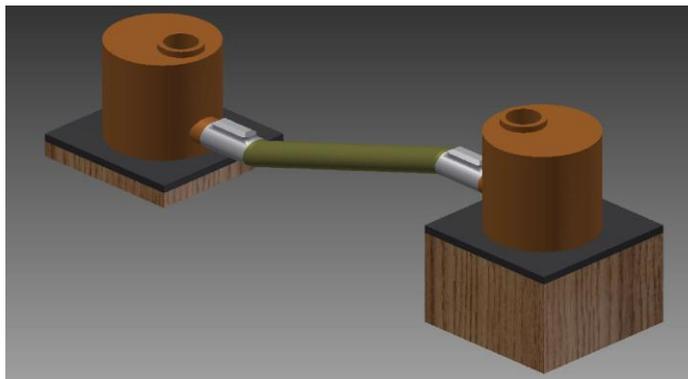


Fig.3. Graphic presentation of model (general view)

When developing the oil pipeline main characteristics – head losses and heat exchange should be calculated with high accuracy. The designed training set-up modelled as a part of an oil pipeline is considered to be used to prove the accuracy of these characteristics in lab environment. The pipe diameter (0,11 m), and the liquid flow velocity (1,789 m/s) were calculated as well as the head losses ($2,89 \times 10^{-6}$). Considering the minor heat exchange with environment (0179 W), it was decided that supplementary insulation and pump warm– up are not needed. Moreover, the designed set–up will be used in modelling the fault detection in oil pipelines.

REFERENCES

1. Yu.M. Kulagin, T.I. Kapustina, V.M. Cherkassky. *Hydraulicheskiy rastchyot truboprovodov.* - 1970.
2. P.Yu. Hamburg. *Tablitsy i primery dlya rastchyota truboprovodov otopeniya i goryachego vodosnabzheniya.* M: 1961.
3. F.A. Shevelyov. *Tablitsy dlya hydraulicheskogo rastchyota stal'nykh, tchugunnykh, asbestotsementnykh i steklyannykh vodoprovodnykh trub.* M: 1973.
4. *Rukovodstvo po hydraulicheskim rastchyotam malykh iskusstvennykh sooruzheniy.* M: 1967.

Authors' information:

Belov A.S.: student of Tomsk Polytechnic University, Institute of Cybernetics.

Kurkan N.V.: senior lecturer of Tomsk Polytechnic University, Institute of Cybernetics.

UDC: 004.415

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF PROGRAM FOR DATA ACQUISITION AND PROCESSING IN SENSOR NETWORKS WITH TEMPERATURE SENSORS

E.S. Bauer, L.V. Galsanova, and L.I. Khudonogova

Tomsk Polytechnic University
E-mail: obidos@yandex.ru

The purpose of this work is the development of a program for acquisition and processing the data obtained from temperature sensors in sensor networks. Wireless sensor networks application for collecting, processing, and presenting information is one of the promising areas as well as for operating procedures monitoring. Temperature, humidity and pressure are the most commonly measured phenomena in current industrial production. LabVIEW environment was used to achieve this purpose. Created program reads out the temperature values from sensor of the DAQ signal accessory, transmits them to the computer, process these data, and every second shows temperature values on the front panel in three measurement scales: Celsius, Kelvin and Fahrenheit. Obtained results can be used as a base for sensor network node software development.

Key words:

Sensor networks, data acquisition, sensor, temperature, LabVIEW.

Introduction

Designing the distributed data acquisition systems in a variety of application areas is more relevant than ever. Wireless sensor network application for collecting, processing, and presenting information is one of the promising areas as well as for operating procedures monitoring. Temperature, humidity and pressure are the most commonly measured phenomena in current industrial production. So, for example, within a middle nuclear power plant there are about 1500 sensor nodes for temperature measurement, and a large chemical company provides more than 20 thousand of such nodes.

The purpose of this work is development of a program for acquisition and processing of data obtained from temperature sensors in sensor networks.

Data Acquisition (DAQ) Hardware

Data transmission process follows several steps. Any measurement starts from a transducer or a sensor, which converts the physical phenomenon into a corresponding electrical signal. Then, the signal conditioning is performed. After converting physical phenomena into the signal measured with a signal conditioning hardware or without it, the signal should be transmitted to the computer. DAQ multiple components required are signal accessory, cable, data acquisition unit and computer. All this hardware enables the computer to operate as the computer-aided measurement system.

Chosen for this work DAQ device has three following interfaces to send and receive signals:

1. I/O connector is the 68 pin connector, which provides the signal input and output from the DAQ device;
2. input/output computer interface transmits data between the DAQ device and the computer via the USB port;
3. real time system integration bus (RTSI) is used to share and synchronize timing and control signals between multiple boards in a single computer. It has eight analog/digital inputs-outputs.

The most commonly used DAQ devices manufactured by National Instruments are the E Series devices. Usually DAQ devices include four common components: analog input, analog output, digital input/output and counters. A representative E-series device includes sixteen analog inputs, two analog outputs, eight digital I/O lines and two counters.

The digital input/output circuit performs both input and output function. A representative DAQ device has eight digital I/O lines for receiving or generating signals.

Counters are hardware controlled registers that are designed specifically to increment or decrement a count register. This register can be read and it can also be preloaded with a given value.

The conditions with which the counter increments or decrements is dependent on the inputs to the counter. Counters measure or generate discrete TTL signals.

In this work channel of analog input is used. Input signal pass through analog input scheme from connector input/output and then transfers on analog-to-digital converter (ADC). Analog input scheme consists of a multiplexer and an instrumental amplifier. Multiplexer is a commutator which connects only one of the several input channels to instrumental amplifier at a time. When data is transmitted from several input channels, multiplexer alternates all channels, connecting it one by one to amplifier. Software controls the order of input signals connection to amplifier. Instrumental amplifier gains or reduces incoming signal.

ADC converts an analog signal into discrete, which then transfers to a computer for analysis via a computer I/O interface. Used in the work ADC has 12 bits resolution at rates up to 250 kS/s and can operate in two following ranges: bipolar range from -2.5 V to 2.5 V, and unipolar range from 0 to 5 V.

The DAQ signal accessory performs the role of the sensor node (Fig. 1) in the described data acquisition system. To provide temperature measurement an IC temperature sensor is used. Accuracy of the temperature sensor is 1.5 °C. Type of sensor output signal is analog.

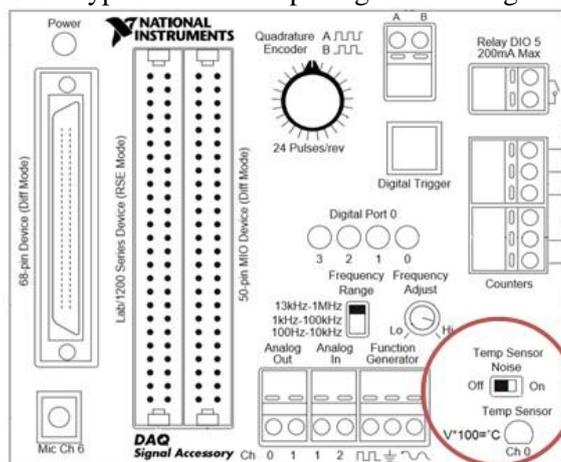


Fig.1. The DAQ signal accessory

The temperature sensor wires to the zero-order analog input channel. Temperature sensor provides an equivalent voltage at the channel output. Because the IC sensor voltage is linearly proportional to the sensor temperature, it is necessary to use the equation (1) to convert it to degrees Celsius:

$$V \cdot 100 = T, \tag{1}$$

where V is an equivalent voltage value, and T is a temperature value in degrees Celsius.

Data Acquisition Software

Development environment LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) was chosen to design the software program for data collection from temperature sensor. The main advantages of LabVIEW are usability and clearness for user. LabVIEW is powerful and flexible software environment used for measurement and analyze findings. It is used in data acquisition and processing systems as well as for control of technical object and operating procedures. The program carries out a measurement of temperature once a second.

In Fig. 2 the front panel of developed program is shown. User is able to choose data acquisition device and number of physical channel on the front panel. Measurement information about temperature displays on the front panel in three scales: degree Celsius, Kelvin and Fahrenheit. Each second user can see both the current temperature value and the result of a previous temperature measurement, which are written in the table. Current date and time are shown on a corresponding indicator.

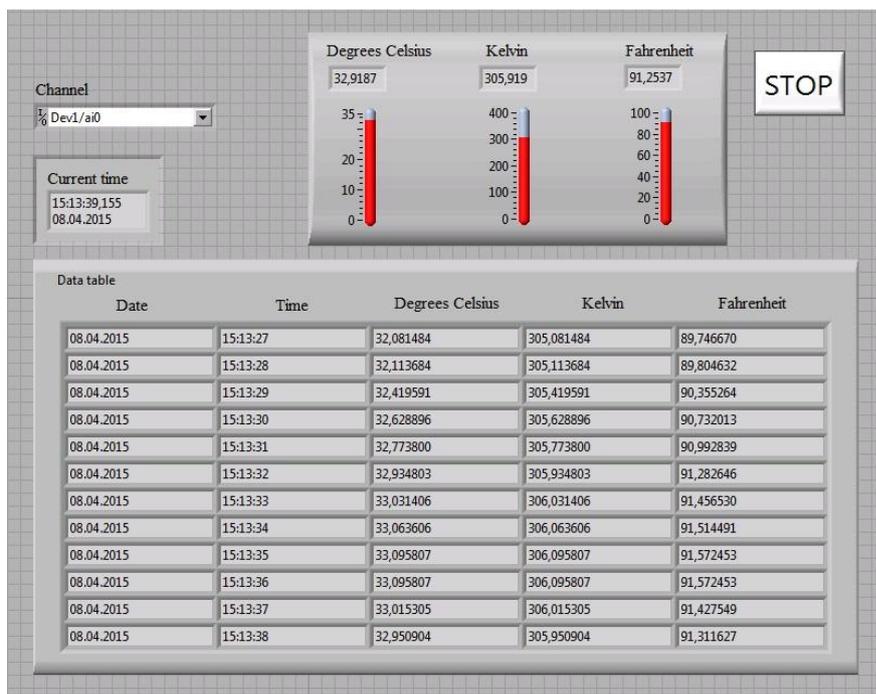


Fig.2. Frontpanel of the program

Program operation order can be represented by the algorithm shown in the Fig. 3.

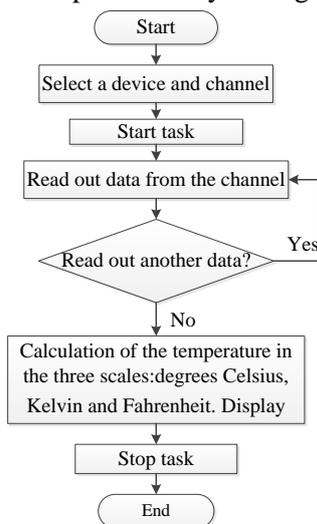


Fig.3. Program algorithm

Basic virtual instruments (VI), used with the DAQ device for temperature measurements, are part of NI-DAQmx and are shown in Figure 4. «Create Virtual Channel» creates a virtual channel or a set of virtual channels. This subVInable to determine the type channel, for example, analog input-output channels, digital input-output, counter for measuring temperature, voltage generation, etc. SubVI «Start Task» is responsible for transition task in working condition, and for start the measurement or generation. «Read» reads the data from virtual channels. «Stop Task» stops the task and returns it to the state before the launch.

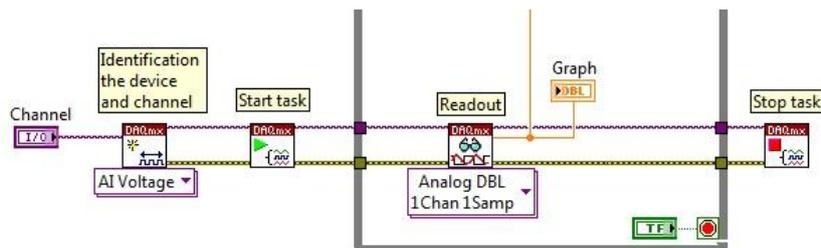


Fig.4. Temperature data reading from analog input channel with DAQ device

One of the basic program tasks is temperature calculation in different scales. Determination of temperature in degrees Celsius is realized by formula (1). Formulas (2) and (3) should be used to take temperature in Kelvin and Fahrenheit.

$$T_1 = T + 273, \tag{2}$$

$$T_2 = 1.8 \cdot T + 32, \tag{3}$$

where T_1 is a temperature value in Kelvin and T_2 is a temperature value in Fahrenheit.

Figure 5 shows part of block diagram, which is responsible for temperature calculation in three above-listed scales.

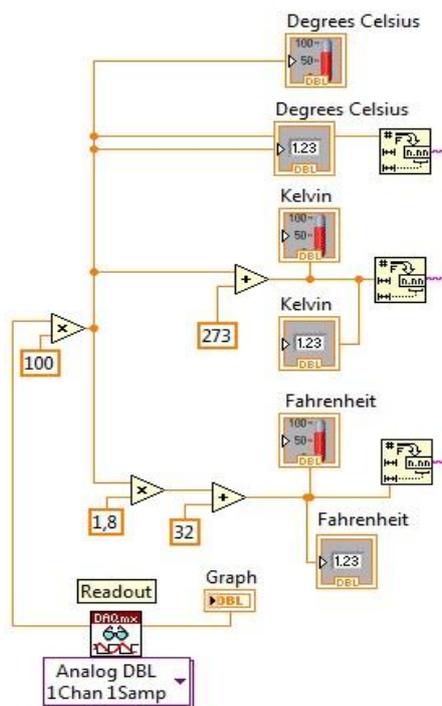


Fig.5. Temperature calculation in scales of Celsius, Kelvin and Fahrenheit

Virtual instruments «Get Date/Time In Seconds Function» and «Get Date/Time String Function» are used to acquire information about date and time (Fig. 6). It is significant to register time of measurement with a given accuracy because measurement is performed once a second. Initially date and time are shown at one indicator, but «Get Date/Time String Function» allows to divide them to two different fields.

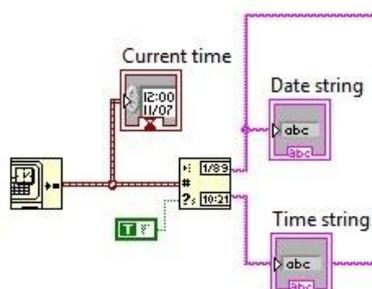


Fig.6. Recording current date and time

Conclusion

This paper presents the program developed for acquisition and processing the data, obtained from a temperature sensor. The program was designed in LabVIEW environment, which provides interaction between hardware and software with NI-DAQmx virtual instruments support. Created program reads out the temperature values from sensor of the DAQ signal accessory, transmits them to the computer, process these data, and every second shows temperature values on the front panel in three measurement scales. Obtained results can be used as a base for sensor network node software development. Further researches will be devoted to measurement data transmission to another computer by network protocols.

REFERENCES

1. Izmeritel'nyekanalny. [e-resource]: URL: http://www.kipinfo.ru/pribori/teplo_temperatura/kanal/ (Access date: 16.10.2014).
2. Sistema sboradannyh. Uchebnyjkurs. [e-resource]: URL: <http://e-lib.kemtip.ru/uploads/25/eteo160.pdf> (Access date: 10.11.2014).
3. Suranov A. Ja. LabVIEW 7: spravochnikpofunkcijam. - 2005. – p. 512.

Authors' information:

Bauer E.S.: second-year student of the Department of Computer-Aided Measurement Systems and Metrology, Institute of Cybernetics, TPU. Scientific interests: Wireless sensor networks. Remote measurements in LabVIEW development environment. Modeling of electromagnetic devices magnetic field using FEM in ANSYS simulation software.

Galsanova L.V.: second-year student of the Department of Computer-Aided Measurement Systems and Metrology, Institute of Cybernetics, TPU. Scientific interests: Wireless sensor networks. Remote measurements in LabVIEW development environment. Modeling of electromagnetic devices magnetic field using FEM in ANSYS simulation software.

Khudonogova L.I.: assistant of the Department of Computer-Aided Measurement Systems and Metrology, Institute of Cybernetics, TPU. Scientific interests: Wireless sensor networks. Remote measurements in LabVIEW development environment. Modeling of electromagnetic devices magnetic field using FEM in ANSYS simulation software.

UDC: 007.52

OVERVIEW OF MOTION AND PRESENCE DETECTION SYSTEMS USED IN SMART LIGHTING SYSTEMS

A.S. Goponenko, I.G. Matveev

Tomsk Polytechnic University
E-mail: andreigoponenko@gmail.com

The article describes stages of design of smart lighting systems. Advantages and disadvantages of detectors used in smart lighting systems are stressed with the purpose of further development of these systems. Ambient factors, which affect the detection system, were analyzed and consequent conservation measures were proposed.

Key words:

Smart lighting system, motion detectors, presence detectors, ambient factors, image recognition

Introduction

The smart lighting system considered in the article is a system of efficient city street lighting, which can significantly reduce energy costs by connecting each lamp to the network and controlling its state (on / off), depending on the movement of pedestrians and vehicles.

In conditions of the widespread increase in energy costs, the application of these systems will not only increase efficiency, but also partly solve the problem of resource efficiency of technologies in the modern world.

Benefits of smart lighting systems over the common ones are:

- standard lighting systems provide lighting that does not depend on both the actual time of daylight and weather conditions, which can be simply solved by a smart lighting system when using this dependence and taking appropriate actions;
- switching on and off of the lighting systems currently in use does not depend on the presence of pedestrians and moving cars, therefore energy can be wasted for a long time [1].

It is obvious that the application of this technology in city lighting will exclude the issues of increasing the number of power plants and energy shortages. The effect of using smart lighting systems is enormous, taking into account that one fifth of all electricity in the world is consumed by city lighting.

The article reviews the methods of motion and presence detection with reference to possible implementations of smart lighting sensor systems that are the basis of the entire lighting system.

Structure of smart lighting systems

A lighting system is a combination of a central unit and streetlights connected to it (Figure 1).

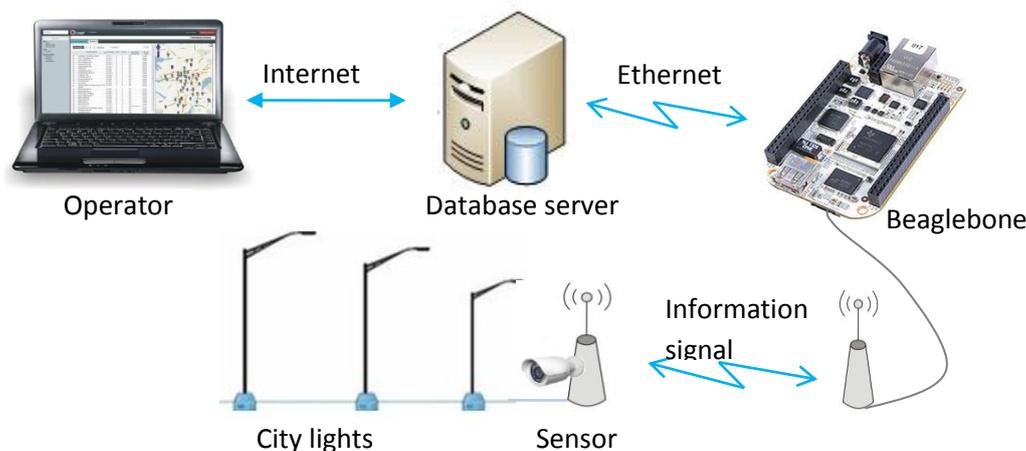


Fig.1. Structure of smart lighting systems

The central control unit is a Beaglebone minicomputer. Each lamp has systems of communication and detection. The first system is used for communication with the Beaglebone, the second one detects a controlled object (a passing-by pedestrian). When a pedestrian enters the control zone, the signal goes to Beaglebone, which will enable lighting close to the pedestrian.

In accordance with the hardware, the corresponding software is used. The developed program is executed by Beaglebone, which supplies appropriate control signals to the lights. The complexity of this is to create a reliable method for detection of a moving or static object. Nowadays, the level of development of motion sensors used in lighting systems challenges to investigate new ways of detection. Sensors currently in use are often falsely triggered and mistakenly stop working when a moving object stops. A solution to this problem can be found using the combination of sensors and improving the data processing algorithms.

After processing, the data arrive at the database server and can be seen and controlled by the operator.

Movement and presence detection methods. Acoustic (ultrasonic)

The principle used in acoustic sensors is the principle of active location, i.e. scanning the space (zone of control) by sound waves in the ultrasonic range. Parameters of received waves are continuously monitored by the sensor.

Ultrasonic waves are elastic mechanical waves propagating in air. The appearance of a person in the zone of control causes a change in the characteristics of the ultrasonic waves. This happens due to the known physical effects such as reverb, diffraction, interference, Doppler effect, and others [2].

An ultrasonic field may be generated by pulsed or continuous waves (without modulation or with amplitude modulation and/or frequency) [2]. Motion detection may be based on an analysis of parameters of sent and received ultrasonic waves, such as difference of amplitudes, frequencies, and time characteristics. Also, there are sensors in which the transmitter and the receiver are mounted opposite to each other. When the ultrasonic wave is interrupted by an object, a signal to perform a function is triggered. More advanced volumetric detectors use a set of information attributes that are processed by a certain algorithm.

The most widely used sensors are based on the Doppler effect, according to which the frequency of an ultrasonic signal reflected from a moving obstacle differs from the original by an amount directly proportional to the transmitted frequency and the radial velocity of the reflector, and is inversely proportional to the velocity of propagation of ultrasound in the zone of control. This value will be positive if the radial component of motion of the reflector is directed towards the source of ultrasound (when approaching the sensor), and negative in the opposite case (when leaving the sensor). In case of change of frequency of the reflected signal from the moving objects is detected, the sensor performs its function.

By means of a piezoelectric element generates waves with a frequency from 20 kHz to 60 kHz, which are transmitted to the zone of control and, reflecting from the surrounding objects, come back to the piezoelectric element.

When a moving object appears in the zone of control of the ultrasonic motion sensor, the frequency of the wave reflected from the object is changed (Doppler effect), which is registered by the receiver and then the sensor performs its function [3].

Sensors of this type have the following advantages:

- low cost;
- they are hardly affected by ambient conditions;
- they can determine movement regardless of the material of the object;
- the effect of air flows with the speed up to 10 m/s on the sensors is negligible.

However, there are the following disadvantages:

- low operating range;
- they only respond to sharp moves – if the movement is smooth, it is possible to fool an ultrasonic motion detector;
- temperature and humidity affect the speed of sound. The increase in air temperature significantly affects the accuracy of the response.

Radio wave (microwave)

The principle of operation of these sensors is based on the interference of radio waves in the centimeter range or, in other words, the Doppler effect. Radio waves from the device reflect from a moving object and are changed with its length or frequency. After reflection from the object, a radio wave is sensed by the device. Further actions of the sensor are determined by certain sensor properties and the algorithm: either an alarm signal is formed and sent to the receiver, or the received radiowave with altered characteristics is ignored (if the parameters of fixed object do not match). Modern motion sensors used in security are protected against false alarms, such as movement of single small animals or birds [4].

Each detector comprises a microwave unit, which consists of a transmitter and a receiver of high frequency oscillations. Radiowave detectors are active devices that transmit microwave oscillations [5].

The source transmits high-frequency electromagnetic waves (usually from 5 to 8 GHz), which are reflected from the surrounding objects and registered by the sensor. The resulting signal is amplified and filtered to exclude registration of objects moving either too slowly or too quickly. The only allocated speeds are from 1 to 5 km/h, which are appropriate to the motion of people. Mixer diode adds transmitted (reference) and reflected waves.

This type of sensor has the following advantages:

- it is able to detect objects beyond different insulation or weakly conductive obstacles: thin walls, doors, windows, etc.;
- sensor performance is not dependent on ambient temperature or objects;
- it is able to respond to the slightest motion of the object;
- it may have several independent detection zones.

Also there are some disadvantages:

- higher cost relative to other types of sensors with similar parameters;
- there is a possibility of false responses due to movements outside the required zone of control; such sources of false responses may be, for instance:
 - mounting fixtures of fluorescent lamps;
 - operating electrical equipment, creating a vibration;
 - small animals and birds;
- microwaves are dangerous for human health, therefore it is necessary to choose the microwave motion sensors with low power, which are safer for people and have the power density of 1 mW/cm².

Infrared sensor

The operating principle is based on registration of infrared (IR) emission changes caused by the movement or presence of people. After contacting with the infrared lens, the photocell changes its parameters. The intensity of infrared emission depends on the temperature of the body, which is brighter at higher body temperatures in infrared waves.

When the object moves, the infrared emission is focused alternately by different lenses of the sensor (the number of lenses typically varies from twenty to sixty pieces), this is a signal to perform the functions built in the sensor. The more lenses are built in the system of the motion sensor, the higher the sensitivity is. Also the larger the surface area of the lens system is, the broader the area of coverage of the motion sensor is.

Infrared motion sensors can be divided into motion detectors and presence detectors by the degree of sensitivity. Motion sensors are less sensitive and amplification path of photocell is limited in thermal sensitivity. Presence sensors are able to respond to the slightest movement. Nowadays, almost all sensors of both movement and presence are sensors with a circular or oval detection diagrams. Presence sensors with square detection area are not widespread now because of their cost. The square detection area simplifies the design and also requires far fewer sensors to monitor a certain area [6].

The advantages of infrared sensors include:

- ability to adjust the distance and angle of detection of moving objects;
- they are absolutely safe for human and animal health, as they work as receivers, emitting nothing.

But there are some disadvantages:

- the possibility of false responses due to the IR sources, which include warm air, cars, sunlight, and rainfall;
- relatively small range of operating temperatures.
- they do not detect objects covered in IR resistant materials.

Taking into account the characteristics of the infrared sensors, the implementation of a lighting system using infrared sensors for automated control is problematic and is possible only when combining with other types of sensors that reduce the negative effects from the infrared sensors.

Visual method

Development of technologies in video recording and processing enables using video not only in the cases, which are aimed at video technology, such as recording and playback of video, but also in non-obvious cases: for example, use of video cameras as smart sensors. Widespread cameras are used to detect motion of objects in modern cars' safety systems for greater automation of the movement process and safety [7-8]. Nevertheless, video camera as an intelligent sensor for lighting systems is almost never used. The development of advanced data processing algorithms provides an opportunity to design such systems [9].

To identify the controlled objects' combinations of points obtained in the video frame processing are used and form criteria for such an identification (Figure 2).

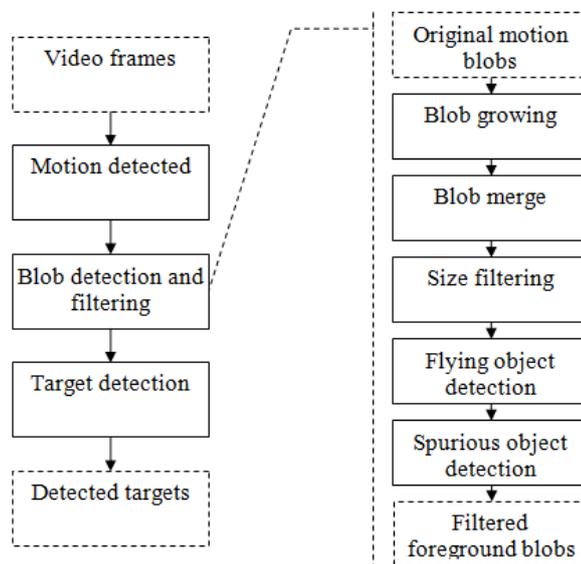


Fig.2. Diagram of the video processing system

Data obtained from the camera are processed by specialized algorithms. In the used algorithm, the video frame is divided into blobs that are classified, filtered, and form some combination that characterizes the specific property of the identified object. As a result of finding the desired object, a signal is supplied to perform further functions.

Advantages of the visual method:

- control of larger space, in contrast to other methods;
- identification not only of motion but also of the presence of the object;
- low probability of false responses.

Disadvantages of this method are:

- complexity of data processing algorithms;
- dependence on light, which can be compensated with an infrared filter.

Visual method can be widely used on road sections where cameras are already in operation, which enables reducing the cost of implementing smart lighting systems. High resolution of modern cameras makes it possible to use one camera instead of several sensors on the same stretch of road.

Combined control methods

The basic methods of motion and presence detection have both advantages and disadvantages. Generally, these disadvantages are associated with the failure of the sensor to detect a person in certain conditions or, alternatively, its false response.

Using a combination of methods for monitoring and detection can significantly reduce the likelihood of incorrect performance of the sensor. An alarm signal is generated only if both detectors are activated simultaneously or within a short time interval. To increase the stability of the system, it should be considered that the interferences causing false alarm signals should affect each detector differently. Table 1 shows the impact of external factors on the operation of sensors of different types.

Table 1. Sensitivity of the sensors to external factors

Ambient factor	Infrared	Microwave	Ultrasound	Visual
Air turbulence	+	-	-	-
Changes in temperature	+	-	+	-
Bright light	+	-	-	+
Electromagnetic interference	+	+	-	+
Fluorescent lighting	-	+	-	-
Vibration	+	+	+	-
Moving outside the control zone	-	+	-	-
Animals	+	+	+	-

The table shows that the majority of ambient changes have different effects on each detector and in most cases can not lead to simultaneous activation of both sensors.

The most widely used combination at present is a combination of microwave and infrared detection principles. Much less often, a combination of ultrasound and infrared detectors is used. There are also some examples of sensors that use three different physical principles of detection, but such sensors are almost never used [10].

Conclusion

Use of the designed system is a distinct addition to pedestrian and transportation networks of the city. In modern cities, especially in Russia, the development of pedestrian areas requires infrastructure that is offered in our project.

The factor of resource efficiency in modern technologies is vital. Especially, the question of energy consumption reduction becomes increasingly important in the period of crisis, thus, use of smart lighting systems will significantly reduce energy consumption.

In the paper, centralized smart lighting system was considered. The structure of the system with elements and devices inside are considered, and the principle of work is described as well. The present study emphasizes motion detection methods in the control area because this is the stage when signals are formed and affect the efficiency of the entire system. Currently, correct work of the sensors of a smart lighting system, i.e. providing a high probability of response and stability of the system, is a big problem due to presence of certain unfavorable conditions and confounding factors.

Using the most advanced methods for motion and presence detection enables increasing the stability and reliability of a system. Today, smart lighting systems can achieve high detection accuracy and, consequently, correct work is gained only in the case of using visual and combined methods of detection.

On the basis of the considered methods and developed efficient algorithm of signal processing and controlling, which are applied from detectors by the microcomputer, highly precise, resource-efficient, and stable smart lighting systems can be designed.

REFERENCES

1. Srivatsa, D.K. ; Preethi, B. ; Parinitha, R. ; Sumana, G. ; Kumar, A. Smart street lights / Proceedings of 2013 Texas Instruments India Educators' Conference (TIIEC), 2013, p. 103-106. DOI: 10.1109/TIIEC.2013.25.
2. Technical means of detection. – URL: <http://www.nicohrana.ru/forum/viewtopic.php?f=18&t=28> (Access date: 20.01.2015)
3. Motion sensors. Common types and their properties. – URL: <http://rozetkaonline.ru/poleznosti-o-rozetkah-i-vikluchateliah/item/54-datchiki-dvizheniya-osnovnye-vidy-i-ikh-osobennosti-oblasti-primeneniya#ultra> (Access date: 20.01.2015) .

4. Microwave and combined motion detectors. – URL: <http://lib.qrz.ru/book/export/html/3200> - (Access date: 29.02.2015) .
5. Microwave and combined motion detectors. – URL: <http://library.espec.ws/books/guard/CHAPTER3/3-3.htm> (Access date: 20.03.2015)
6. Vlasyuk N.P. Passive infrared motion detector / Radiomator. - 2006. - №5. - p. 31-37.
7. Becker, D. ; Schaufele, B. ; Einsiedler, J. ; Sawade, O. ; Radusch, I. Vehicle and pedestrian collision prevention system based on smart video surveillance and C2I communication / Proceedings of 2014 IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2014, p. 3088-3093. DOI: 10.1109/ITSC.2014.6958186
8. Zhijun Jiang ; Mingfa Wang ; Wei Gong. The video capture and processing research on Smart car road information based on OV7620 camera / Proceedings of 2010 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR), Vol. 1, 2010, p. 108-111. DOI: 10.1109/CAR.2010.5456894.
9. Zhong Zhang ; Mistry, A. ; Weihong Yin ; Venetianer, P.L. Embedded smart sensor for outdoor parking lot lighting control / 2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2012, p. 54-59. DOI: 10.1109/CVPRW.2012.6238895.
10. Combined sensors of home security system. – URL: <http://www.polyset.ru/article/st1001.php> (Access date: 20.02.2015).

Authors' information:

Goponenko A.: Tomsk, master's student at the Institute of Non-Destructive Testing, National Research Tomsk Polytechnic University.

Matveev I.: Tomsk, master's student at the Institute of Non-Destructive Testing, National Research Tomsk Polytechnic University.

UDC: 007.52

DESIGN OF DETECTION MODULE FOR SMART LIGHTING SYSTEM

I.G. Matveev, A.S. Goponenko

Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, office 127
E-mail: Necator94@gmail.com

The paper considers a smart lighting system based on Beaglebone microcomputer. The analysis of existing motion and presence sensors was carried out and then used as a basis for design of a detection system. The detection system and the corresponding connection solution for a smart lighting system were developed. Using the designed smart lighting system, experimental studies were carried out.

Keywords:

Smart lighting system, Beaglebone microcomputer, motion sensor, presence sensor, detection system

Introduction

Modern systems of city lighting have strict requirements connected with energy saving and resource efficiency. It is caused by the increasing level of lighting energy consumption. So, this problem can be solved by using smart lighting systems.

Advantages of smart lighting system in comparison with other systems:

– conventional lighting systems have default lighting time that is independent from time of day and weather.

– switching on and switching off of conventional lighting systems do not depend on presence of pedestrians and moving cars, which leads to excessive energy spending during longer time [1].

Control of smart lighting systems is gained by using of embedded systems, which include lighting level control, processing of signals from detectors, and connection between each other. The type of used detectors defines content and functionality of a system and plays a significant role in the correct functionality of the whole system.

Structure of a smart lighting system

A lighting system is a combination of central device and streetlights, which are connected to each other (Fig. 1).

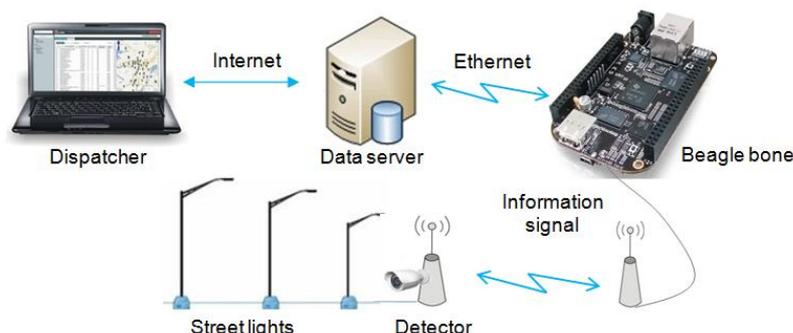


Fig. 1. Structure of a smart lighting system

The central control unit is a Beaglebone minicomputer. Each lamp has systems of communication and detection. The first system is used for communication with the Beaglebone, the second one detects a controlled object (a passing-by pedestrian). When a pedestrian enters the control zone, the signal goes to Beaglebone, which will enable lighting close to the pedestrian.

In accordance with the hardware, the corresponding software is used. The developed program is executed by Beaglebone, which supplies appropriate control signals to the lights. The complexity of this is to create a reliable method for detection of a moving or static object. Nowadays, the level of development of motion sensors used in lighting systems challenges to investigate new ways of detection. Sensors currently in use are often falsely triggered and mistakenly stop working when a

moving object stops. A solution to this problem can be found using the combination of sensors and improving the data processing algorithms.

After processing, the data arrive at the database server and can be seen and controlled by the operator.

Information is transferred to the data server and the dispatcher after the data is processed.

Overview of sensors

Acoustic (ultrasonic) sensor

Acoustic sensors work on the principle of active location that is scanning the surrounding space (controlled zone) by sound waves in the ultrasonic range. Parameters of received waves are continuously monitored by the sensor.

A piezoelectric element generates waves with a frequency from 20 to 60 kHz, which are emitted into the controlled zone, reflect from the surrounding objects waves, and come back to the piezoelectric element.

When an object moves in the detection area of the ultrasonic motion sensor, the frequency of the wave reflected from the object is changed (Doppler effect), which is registered by the receiver. The receiver signal is conveyed to the ultrasonic motion sensor to trigger the embedded function [2, 3].

Sometimes, sensitivity of an ultrasonic sensor is not enough to detect the presence of a person, and it has a short distance range for the control area, but, at the same time, it is not influenced by changes of external influences.

Radio wave (microwave) sensor

Radio wave sensor contains a microwave unit which consists of a transmitter and a receiver of high-frequency oscillations. Radio wave detectors are active devices because they transmit microwave oscillations (usually 5 to 8 GHz), which are reflected by the surrounding objects and are registered by the sensor. The resulting signal is amplified and filtered to exclude registration of objects, which move too slowly or too quickly, from signal. The only allocated speeds are from 1 to 5 km/h, which are appropriate to the motion of people. Mixer diode adds transmitted and reflected waves [4].

Radio wave sensor, in contrast to the ultrasonic sensor, has a high sensitivity and long-range performance that can cause incorrect work of a detector, for example, by vibrating equipment or small animals. The efficiency of microwave sensors depends on the ambient temperature, and these sensors are much more expensive than other types of detectors.

Infrared sensor

The concept of the infrared sensor is based on the registration of change of infrared emission that is caused by movement or presence of a person in the area. The infrared emission is focused by the sensor's lenses. The more amount of lenses is, the more the sensitivity of the detector is. IR sensors can be divided into motion and presence sensors.

Infrared sensors have high sensitivity, which can be changed, and low cost in comparison with other sensors. However, infrared sensors are highly dependent on the ambient temperature [5].

Given the characteristics of the infrared sensors, the implementation of a lighting system with using infrared sensors for automated control is problematic and is only possible in combination with other types of sensors contributing to the compensation of negative effects of infrared sensors.

As a result of analyzing of the sensor base, their advantages and disadvantages, an optimal combination of infrared and ultrasonic sensor can be identified.

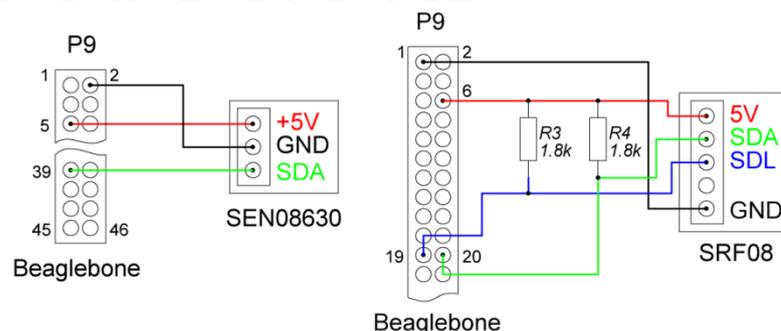


Fig. 2. Schemes of connection of SRF08 and SEN08630 sensors to the Beaglebone

High dependence of the infrared sensor on the ambient factors is overcome by using an ultrasonic sensor; the low sensitivity of the ultrasonic sensor can be improved by the infrared sensor.

Experimental studies

The sensors that were used in the detection system are the ultrasonic sensor SRF08 and the infrared sensor SEN08630.

The ultrasonic sensor SRF08 connects to the BeagleBone Black microcomputer through serial data bus I2C (fig. 2). At the beginning, the microcomputer initializes the address of the sensor that is connected over the I2C protocol [6]. To scan a control zone by the sensor, the command with specific value is sent to the command register of SRF08. The next step is reading of data from the sensor's register. The data come in hexadecimal format, and include information about the distance to the object in centimeters (Fig. 3).

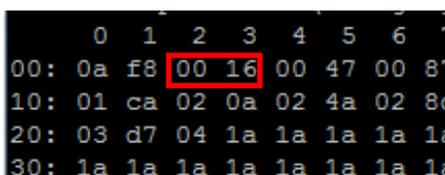


Fig.3. Distance data to the object (cell 0x02 – significant bit and 0x03 – the least significant bit), $0x16_{16}=22_{10}$ cm

Each scan is carried out in 65 ms (minimum time between measurements, which is limited by the sensor's characteristics). The measured value is compared with the previous and when an object appears in the detection zone, the difference between the obtained values arises. It indicates the presence of the object in the control zone.

The connection of the ultrasonic sensor SRF08 is made via ADC pins of BeagleBone Black (Fig. 2).

The signal output of the infrared sensor is connected to the analog input of the microcomputer (maximum voltage is 1.8 V). The amplitude of the output signal of the sensor is approximately 42 mV when the object is absent and 2.7 mV when motion is detected in the control zone (Figure 4). To process the signal from the sensor, a program that indicates the presence of motion for the 2 mV signal level was written.

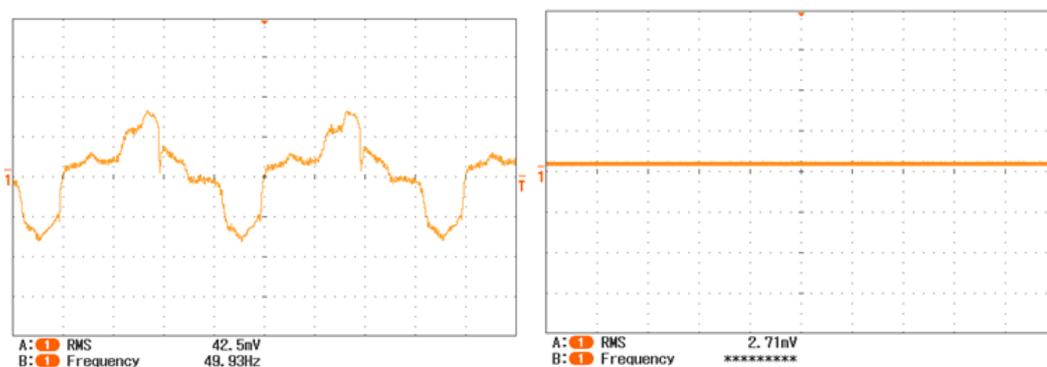


Fig. 4. The waveform of the sensor signal with and without motion

Experimental setup of smart lighting system was designed, where the LED has the role of a light source. To increase the detection efficiency in the area of control, ultrasonic and infrared sensors were combined in a system controlled by the BeagleBone Black microcomputer.

LED control program was designed in C ++, which processes the signals from the sensors and switches on the LED if the movement is registered by at least one sensor (Figure 5).

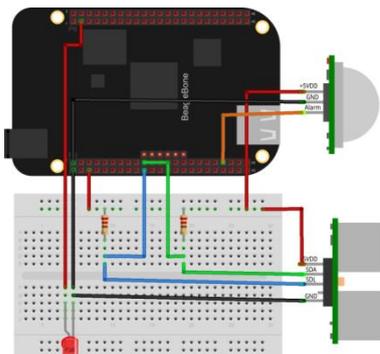


Fig. 5. Experimental model of a smart lighting system

Conclusions

The main methods of movement and presence detection were analyzed. The best combination of sensors for using in a smart lighting system was defined. Using a combination of methods of detection allows to increase the accuracy and sensitivity of a lighting system.

Schemes and algorithms of sensor connection to the Beaglebone Black microcomputer were designed and, as a result, experimental studies were carried out. A model of a smart lighting system was designed and tested. The designed system successfully solves the problem of motion detection and lighting control.

On the base of the model, design of variations for improving accuracy and sensitivity of the detection system is planned.

REFERENCES

1. Srivatsa, D.K. ; Preethi, B. ; Parinitha, R. ; Sumana, G. ; Kumar, A. Smart street lights / Proceedings of 2013 Texas Instruments India Educators' Conference (TIIEC), 2013, p. 103-106. DOI: 10.1109/TIIEC.2013.25
2. Technical means of detection. URL: <http://www.nicohrana.ru/forum/viewtopic.php?f=18&t=28> (Access date: 20.01.2015)
3. Motion sensors. Main types and features . URL: <http://rozetkaonline.ru/poleznie-stati-o-rozetkah-i-vikluchateliah/item/54-datchiki-dvizheniya-osnovnye-vidy-i-ikh-osobennosti-oblasti-primeneniya#ultra> (Access date: 23.01.2015)
4. Radio waves and combined detectors. URL: <http://library.espec.ws/books/guard/CHAPTER3/3-3.htm> (Access date: 29.01.2015)
5. Vlasuk N.P. Passive infrared motion detector / Radiomator. - 2006. - №5. - p. 31-37.
6. Derek Molloy. Tools and Techniques for Building with Embedded Linux, John Wiley & Sons, Inc. 2015.

Author's information:

Matveev I.G., master's student at Institute of Non-Destructive Testing, National Research Tomsk Polytechnic University, e-mail: Necator94@gmail.com;

Goponenko A.S., master's student at Institute of Non-Destructive Testing, National Research Tomsk Polytechnic University, e-mail: andreigoponenko@gmail.com;

UDC: 004.415

DEVELOPMENT OF PROGRAM FOR MEASURING THE MOTOR ROTATION SPEED WITH THE HALL SENSOR

V. Ryazanova

Research Supervisor: V. E. Baranova, senior lecturer, TPU

Language Supervisor: N.V. Kurkan, senior language instructor, TPU

Tomsk Polytechnic University,

Institute of Cybernetics

E-mail: violetta-wikiria@yandex.ru

The objective of this work is the development of laboratory training set-up for measuring the rotation speed of motor using a Hall sensor. The developed set-up was assembled of an electric motor, digital Hall sensors, motor and sensor power supply, and MyRIO set-up. The program for calculation the angular speed was designed in LabVIEW graphical environment and NI MyRIO. The result of this work is the automated facility development for studying the Hall sensor in measuring of the angular velocity. This facility can be used in such disciplines as «Fundamentals of Measurement in Physical Science», «Information and Measurement Systems» and «Measurement Automation» when studying the LabVIEW environment.

Key words

magnetic field sensors, the Hall sensor, angular velocity, angular speed measurement

Introduction

Magnetic field measurement is a critical priority in the area of space exploration, navigation, magnetic tomography, mineral exploration and non-destructive testing. The high current magnetic field sensors are used in mobile phones, notebooks, microsatellites and microrobotics. There are different types of magnetic field sensors: Reed sensors, GMR, Hall effect sensors, Wiegand effect sensors, magnetoresistive and induction sensors, squids.

The Hall sensors gained the most widespread acceptance. They are used for measurements of current, power, speed, and distance. The Hall electromotive force is used even in the CD-drive in any personal computer. But the most common application of the Hall generator was provided in the motor-vehicle industry for measuring the camshaft and crankshaft positions, as well as for motor control applications, as the electronic ignition.

This paper presents the development of a training set-up based on the National Instruments MyRIO-1900 designed for measuring the angular speed with the Hall sensors.

NI MyRIO-1900 includes dual-core ARM® Cortex™, Xilinx field programmable gate array (FPGA) used for designing real-time applications. NI MyRIO has the programmable Zynq-7010 installed, which allows designers to use the LabVIEW environment in full scale to develop a laboratory training set-up. The FPGA facilities and imbedded Wi-Fi provide the remote control over the set-up. NI MyRIO includes 40 digital I/O, ten analog inputs and six analog outputs to add a great number of sensors.

Hall sensor principle

The Hall sensor is a magnetic field sensor based on the phenomenon of the Hall effect. The Hall effect is the transverse voltage by placing the conductor with direct current in a magnetic field. This effect was discovered by Edwin Hall in 1879, in thin gold plates.

So, the current from an external source goes across a semiconductor plate.

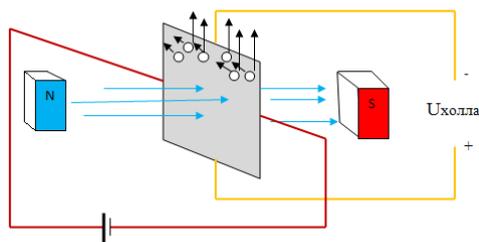


Fig.1. The Hall Effect

The plate is placed in the magnetic field, the magnetic field vector is perpendicular to current direction. As a result, the Lorentz force holds electrons deviating from straight-line motion. Under the action of the Lorentz force electrons tend to deviate from a straight forward. This strength moves electrons in the direction perpendicular to the magnetic field and the current (Figure 1).

In this case, the number of electrons at the upper edge of the plate is greater than at the lower edge, therefore, there is a potential difference. This potential difference causes the appearance of the Hall voltage. The Hall voltage is proportional to the current and the magnetic field induction. At constant value of the current through the plate, it is determined only by the value of the magnetic field induction (Figure 2).

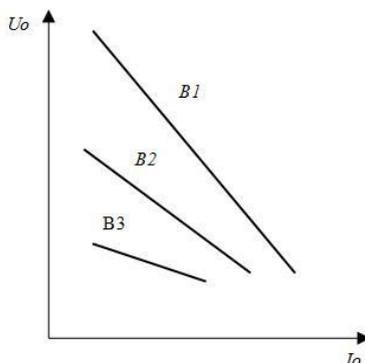


Fig.2. Dependence of output voltage from current

Sensitive elements are made of thin semiconductor films. These elements are grown on substrates and supplied with outputs for external connections.

Measurement of motor rotational speed

One of the basic examples of the Hall sensor application is measuring the rotation speed of motor shaft. Unlike mechanical and optical sensors, Hall sensors have an important advantage – they are hardly sensitive to mechanical impact and changing of environment and minimize the cost of complete solutions therewith. In order to measure the speed of rotation, the Hall sensor is fastened on stationary parts and then, magnets are fastened on moving parts.

Figure 3 shows a block diagram of the lab set-up for measuring the rotation speed of the disc. A permanent magnet disk (2) divided into 5 Northern and Southern poles was fastened on the motor shaft (1). The Hall sensor (3) output was connected to the analog-to-digital converter (ADC) NI MyRIO (6). When rotating magnetic disk (2), the output Hall sensor signal occurred in the form of rectangular pulses (figure 4) with the frequency directly proportional to the disk rotation speed.

The motor rotation speed is calculated with the ADC digitized data according to formulas (1-3).

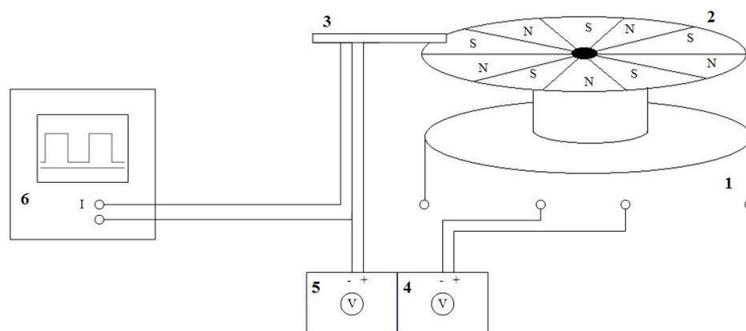


Fig.3. Block–diagram of lab set-up for measuring the disk rotational speed.

1 – electric motor; 2 – magnetic disk; 3 – digital Hall sensor; 4 –motor power supply; 5 – Hall sensor power supply; 6 – MyRIO set-up.

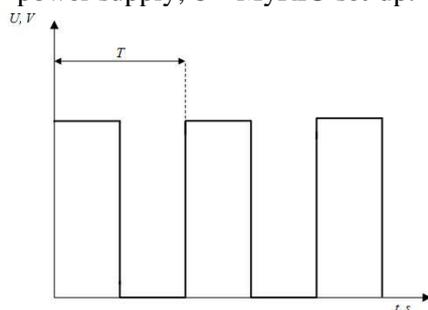


Fig.4. Signal obtained as the outcome of experiment

Signal processing sensor probes

$$T = \frac{1}{f} \tag{1}$$

T -period of rotation, s; f - rotation frequency, Hz.

Angular velocity is often defined in rotations per minute. One turn is 2π radians or 360° :

$$\omega = \frac{\pi \cdot V}{30} \tag{2}$$

thus,

$$V = 60 \cdot f \tag{3}$$

where ω is circular frequency, rad/s;

V is angular speed, rpm.

Program to measure angular speed

Algorithm for measuring the angular speed is shown in Figure 5.

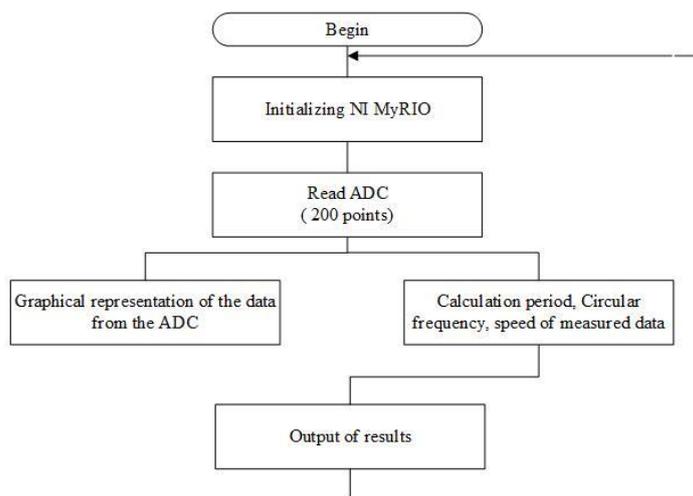


Fig.5. Program for measurement of angular speed

The algorithm was realized as a program written in LabVIEW. Block diagram of the program is presented in Figure 6.

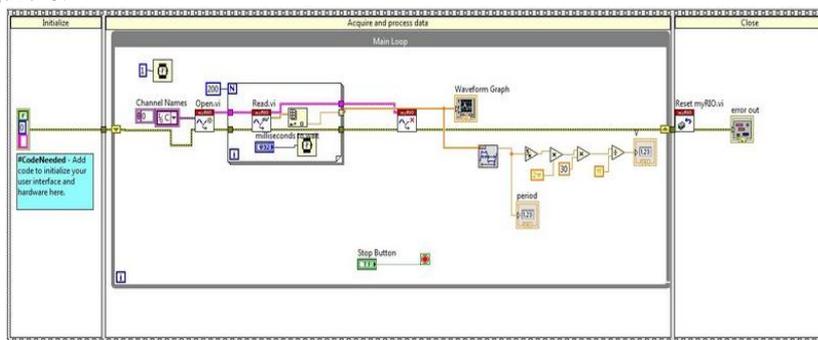


Fig. 6. Block-diagram of program for angular speed measurement

The user interface is presented in Figure 7. The ADC data are plotted as a waveform and used for calculating the signal period. Angular velocity is calculated according to formulas (1-3).

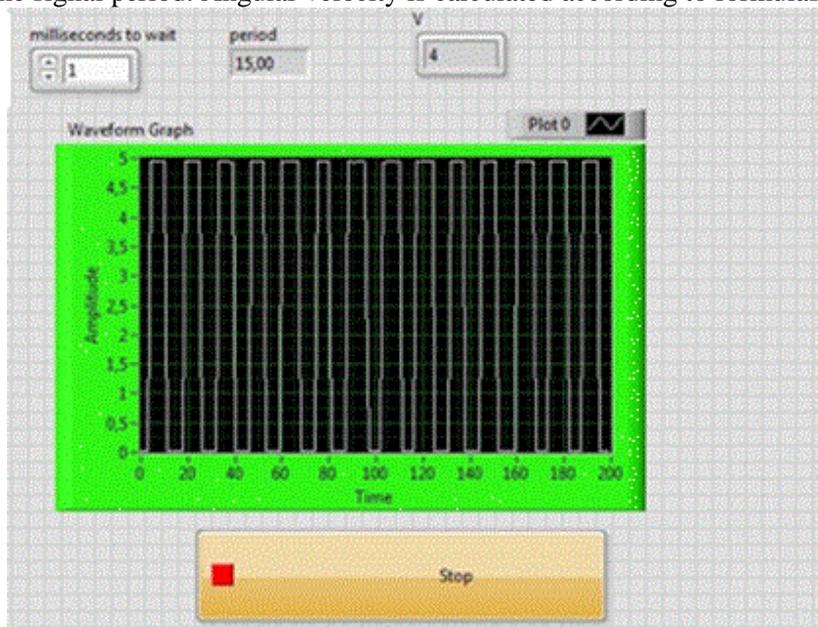


Fig.7. Front panel of program for angular speed measuring

Conclusion

An automated laboratory facility was developed for measuring the angular velocity with the magnetic Hall sensors. Both analog and digital Hall sensors can be studied by means of this laboratory set-up. The developed training set-up can be used in «Fundamentals of Measurement in Physical Science» when studying the Hall sensors, as well as in «Information and Measurement Systems» and «Measurement Automation» courses studying the LabVIEW environment.

REFERENCES

1. avelyev I.V. Kursobsheyfiziki, t.2.-M.: Vysshayashkola, 2007 S
2. d Ramsden. Ten Easy Things to Do with Magnetic Sensors// Sensors. 2009. URL: http://archives.sensormag.com/articles/0397/mar_mag E
3. inhTu Bui. High-sensitivity planar Hall sensor based on simple gaint magneto resistance NiFe/Cu/NiFe structure for biochip application// IOPscience. 2013. URL: <http://iopscience.iop.org/2043-6262/4/1/015017/article> D

Author's information:

V. Ryazanova: National Research Tomsk polytechnic university, Institute of Cybernetics, 89138560113, e-mail: violetta-wikiria@yandex.ru

UDC 622.24.084

SYSTEM CONTROL PARAMETERS OF DRILLING

M.A. Nosaev

National Research Tomsk Polytechnic University
Institute of Non-destructive testing
Tomsk, Russia
E-mail: maksim_nosaev@mail.ru

The article analyzes control system of drilling parameters. Describes a list of basic monitored parameters. Use of indirect calculations is proposed to reduce the number of these parameters.

System "Leuza-2" is intended for measurement and control of technological parameters of drilling, operational control, optimization and ensuring safety of oil and gas wells drilling.

The system provides: current information automatic gathering, processing, including derivative parameters calculation, representation using display and registration devices (drilling operator console); documenting of drilling results in a digital, analogue and graphic forms. Also exceeding of technological parameters beyond determined limits is controlled, in case of exceeding of parameters beyond the limits light and acoustic alarms are turned on. Such technological solutions as circuit design with spark-safe electrical circuits, filing blocks with high pressure air and sensors with explosion-proof covers are applied in the system.

Basic components of drilling parameters technological control system "Leuza-2" are:

- block ACPS (amplifying, commutating and power supply) receiving analogue and impulse signals of sensors, transforming it in a digital code and exchanging data with a computer and a drilling operator console;
- drilling operator console displaying technological information and system control panel;
- set of sensors.

Sensors are installed on the drilling unit, function in a continuous mode and serve for reception of the primary information about condition of technological parameters. In the given system following controllable parameters are basic:

- number of turns of a draw work shaft (headway),
- hook load,
- a twisting moment on a rotor,
- quantity of pump throws,
- density of drill fluid,
- level of drill fluid,
- pressure of drill fluid,
- flow rate of drill fluid.

It is offered to replace in drill fluid supply system two sensors (pressure and level) used in the well head with one hydrostatic level sensor, which measures both of these parameters.

Operation principle of hydrostatic pressure sensor is following: when pressure of the process influences the sensor, the dividing membrane is moved, transferring measured pressure through filling liquid, to a sensitive membrane. This pressure causes change of position of a sensitive membrane in a sensor control cell, changing capacity between a membrane and condenser plates.

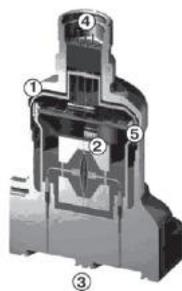


Fig. 1. The General view of the primary converter: 1 - a case, 2 - a capacitor cell, 3 - sensitive dividing membranes, 4 - a plug socket, 5 - an electric board

The value of hydrostatic pressure P_g depends on height of a column of a liquid h over the measuring device and from density of this liquid ρ .

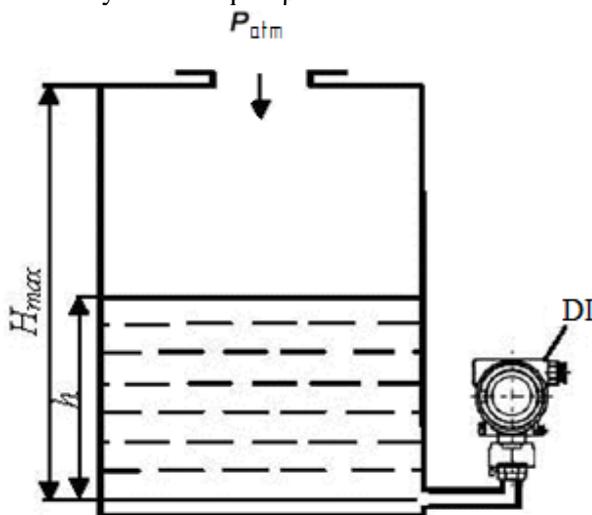


Fig. 2. An arrangement of the pressure sensor on the tank: DI – differential instrument

Then the value of drill fluid pressure will be equal to:

$$P_g = \rho g h,$$

where ρ - drill fluid density, $g=9,81 \text{ m/s}^2$ - acceleration of free falling, h - height of a measured liquid.

Having expressed from this expression h , we receive required drill fluid level:

$$h = \frac{P_g}{g\rho}$$

Knowing value of hydrostatic pressure, it is possible to receive the information on drill fluid level in the tank.

REFERENCES

1. Булатов А.И. Контроль процессов бурения нефтяных и газовых скважин / А.И. Булатов, В.И. Демихов, П.П. Макаренко. – М.: Недра, 1998.
2. Лугуманов М.Г. Система удаленного контроля и управления процессом строительства скважин / М.Г. Лугуманов, А.Б. Гусев, Д.В. Артемов // Научно-технический вестник "Каротажник" – 2005. – № 5–6. <http://npfgeofizika.ru/leuza/science/article20.htm>.

Authors' information:

Nosaev M.A.: Tomsk, National research Tomsk polytechnic university, Institute of Non-destructive testing, e-mail: maksim_nosaev@mail.ru

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Материалы VI Научно-практической конференции
с международным участием

Издано в авторской редакции

Компьютерная верстка: *Н.С. Старикова*