



Открытое акционерное общество
«Радиоавионика»

сборник научных трудов

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ многоцелевого назначения

1991 | 2011
ЮБИЛЕЙНЫЙ ВЫПУСК

ББК 32.844я43
УДК 621.396(082)
Р15

Радиоэлектронные комплексы многоцелевого назначения: сборник научных трудов. Юбилейный выпуск. 1991–2011 / Открытое акционерное общество «Радиоавионика». — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 400 с.

Сборник посвящен обзору ведущих научно-технических направлений, развитием которых уже 20 лет занимаются специалисты ОАО «Радиоавионика».

Приведены результаты исследований и разработок, связанных с созданием сложных радиоэлектронных комплексов многоцелевого назначения, а также организации их серийного производства и сервисного обслуживания. Рассмотрены проблемы создания приборов неразрушающего контроля рельсов и систем железнодорожной автоматики, многофункциональных информационных комплексов военнослужащих, комплексов сверхширокополосной георадиолокации.

Редколлегия:

Марков А.А. (председатель), Степанов М.Г., Бирюков А.П., Маковеев О.Л., Шабуров С.М., Костылева В.А., Сериков В.А.

ISBN 5–98052–111–9

© ОАО «Радиоавионика»
© СПбГПУ, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Т.Н. БЕРШАДСКАЯ, Н.А. БЕЛОУСОВ

20 лет успеха на пути инновационного развития7

В.И. ТАЛАЛАЕВ

Инновационные направления деятельности компании в области создания
системы комплексного обслуживания объектов инфраструктуры13

СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

А.А. МАРКОВ

20 лет. Трудный путь к успеху.23

П.Г. ПОЛИТАЙ

Новые возможности вагона-дефектоскопа с аппаратурой АВИКОН-03М34

С.П. МАХОВИКОВ

Организация архитектуры дефектоскопического комплекса АВИКОН-03М40

Д.В. АЛЕКСЕЕВ

Система синхронной видеорегистрации.

Особенности реализации и практика применения на примере вагона-дефектоскопа
с расширенными функциональными возможностями43

А.М. БОРОНАХИН, Н.С. ФИЛИПЕНЯ, Е.Д. БОХМАН,

Р.В. ШАЛЫМОВ, Л.Н. ПОДГОРНАЯ, Д.Ю. ЛАРИОНОВ

Малогабаритная инерциальная система диагностики рельсового пути.50

А.А. МАРКОВ, Е.А. КУЗНЕЦОВА

Комплексный анализ состояния рельсового пути с помощью вагона-дефектоскопа
с аппаратурой АВИКОН-03М59

А.Г. АНТИПОВ

Выявление поверхностных повреждений головки рельса по данным магнитного канала
вагона-дефектоскопа.72

А.Б. КОЗЬЯКОВ, А.Д. ШПАГИН, Ю.А. МАРКОВ

Новая технология контроля сварных стыков рельсов дефектоскопом МИГ-УКСМ.77

В.В. МОСЯГИН, Е.А. КУЗНЕЦОВА, В.Е. ОЛЕЙНИК, А.С. АФАНАСЬЕВ

Применение колесных искательных систем для сплошного ультразвукового контроля рельсов ...83

А.А. МАРКОВ, В.Е. ОЛЕЙНИК

Ультразвуковой контроль ответственных объектов с необработанными поверхностями
с помощью колесных преобразователей с эластичным протектором89

А.Б. КОЗЬЯКОВ, Д.В. ФЕДОРЕНКО

Возможности дефектоскопа-штанги АВИКОН-15 с полноценной схемой прозвучивания ...97

В.В. МОСЯГИН

Измерение размеров дефектов — подходы к мониторингу состояния рельсов (АВИКОН-17) ..102

Н.А. ВОРОНИН, Д.А. ДЕРЮГИН

Особенности программно-аппаратной реализации современных дефектоскопических
устройств108

А.Д. ШПАГИН

Расширение возможностей устройств управления и индикации ультразвуковых дефектоскопов ..112

Д.В. ФЕДОРЕНКО

Проблемы автоматизации расшифровки сигналов многоканального
ультразвукового контроля рельсов117

В.А. БОВДЕЙ

Внедрение современных технологий разработки конструкторской документации при создании современных средств ультразвукового контроля121

М.Н. ШИЛОВ

Координация эффективного взаимодействия разработчиков, производства и потребителей средств неразрушающего контроля124

А.А. МАРКОВ, М.Н. ШИЛОВ

Сотрудничество НТК СНГ с зарубежными странами.128

НЕЙЛ МАККУЭЙГ

Успешное сотрудничество131

ЯНОШ БЕЛИ

Результаты эксплуатации дефектоскопического комплекса АВИКОН-03 на железных дорогах разных стран135

Ю.А. МАРКОВ

Наши дефектоскопы в Ливии139

Ю.А. ТРИФОНОВ

Наш Центр подготовки143

В.О. ФЕДОТОВ

Сайт дефектоскопистов – вопросы и ответы149

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ АВТОМАТИКА

В.И. РЯПОЛОВ

Через тернии к совершенству.

Основные этапы истории и направления развития НТК ЖАТ155

В.В. НАВОЙЦЕВ, Л.Н. РОМАНОВ, И.А. ЯКСОН

Обработка данных при сопряжении двухканальных и трехканальных систем железнодорожной автоматики161

М.А. БУТУЗОВ, Л.Н. РОМАНОВ, И.А. ЯКСОН

Определение параметров допустимого с точки зрения безопасности безотказного парирования однократных и периодических сбоев166

А.П. БИРЮКОВ, А.А. КОСТРОМИНОВ

Разработка математической модели тепловой стойкости проводников к импульсным воздействиям171

А.П. БИРЮКОВ, А.А. КОСТРОМИНОВ

Аналитические оценки характеристик молниевых напряжений, возникающих на сопротивлениях заземлений175

М.А. ЕРЕМИН

Развитие и перспективы систем электропитания железнодорожной автоматики производства ОАО «Радиоавионика»179

А.В. МИХАЙЛОВ, С.Ю. КОСТЮНИН

Применение кроссплатформенной библиотеки Qt4 для создания технологических терминалов ..182

А.А. НИКОЛАЕВ, А.М. БЕЛОУС

Опыт применения стандарта CENELEC EN 50128 при разработке программного обеспечения. .185

А.В. БРЮХОВ

Статическая и динамическая системы обнаружения ошибок в исходном и исполняемом коде ПО ..189

А.В. БРЮХОВ

Сравнительный анализ безопасности ОС РВ.193

Г.А. ЧАЙКОВСКАЯ, И.А. КРАСИЛЬНИКОВ, С.Е. МИНАКОВ, А.В. УСЕНКО	
Применение методов полунатурного и имитационного моделирования при разработке тестирующего комплекса системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ	196
И.А. КРАСИЛЬНИКОВ, С.Е. МИНАКОВ, А.В. УСЕНКО	
Методы адаптации диагностического программного обеспечения для объектов внедрения ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ.	201
И.А. КРАСИЛЬНИКОВ, А.В. УСЕНКО	
Программное обеспечение под управлением ОС Windows, реализующее функции информационного обмена с системами реального времени	207
А.М. БЕЛОУС, А.В. ГРОШЕВ	
Моделирование вычислительных процессов и электронных узлов отказоустойчивых микропроцессорных устройств управления на основе Е и схемной Е-сетей.	212

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ ГЕОЛОКАЦИЯ

В.А. НИКОЛАЕВ, Н.А. ОХТЕНЬ	
Перспективы развития средств инженерной разведки	223
С.М. ШАБУРОВ, В.И. КУЛИКОВ	
Новые технологии неразрушающего контроля для нужд городского хозяйства	229
Л.Ю. АСТАНИН, В.А. НИКОЛАЕВ	
Критерии оценки эффективности поиска взрывоопасных предметов и результатов обучения операторов на учебном полигоне	233
Ю.В. ЯСТРЕБОВ	
Использование вейвлет-анализа для удаления шумовых составляющих сверхширокополосного радиолокационного сигнала	255
Ю.В. ЯСТРЕБОВ	
Критерии определения границ дальней зоны электромагнитного поля и их особенности при сверхширокополосном радиолокационном зондировании	259
А.Б. СМЕРНОВ, В.В. КОСТЫЛЕВА, М.С. СИДОРЕНКО	
Диагностика балластного слоя железнодорожного полотна по результатам сверхширокополосного радиолокационного зондирования	263
С.М. ШАБУРОВ, Ю.В. ЯСТРЕБОВ, В.В. КОСТЫЛЕВА	
Неразрушающий контроль конструктивных слоев дорожной одежды методом сверхширокополосного радиолокационного зондирования	270
В.И. КУЛИКОВ, В.В. КОСТЫЛЕВА, М.С. БАРИЛКО	
Комплексный инструментальный контроль объектов культурного наследия неразрушающими методами	275
Ю.В. ЯСТРЕБОВ, В.И. КУЛИКОВ, В.В. КОСТЫЛЕВА	
Метод оценки качества инъектирования строительных конструкций с использованием метода сверхширокополосного радиолокационного зондирования	279

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А.Ю. КАПЛИН	
Результаты разработки и направления модернизации комплекса разведки, управления и связи «Стрелец»	285
А.Ю. КАПЛИН, М.Г. СТЕПАНОВ, В.В. ЕЛИШЕВ	
Использование систем спутниковой навигации и связи для организации движения поездов на малодеятельных участках.	300

А.Ю. КАПЛИН, М.Г. СТЕПАНОВ, В.В. ЕЛИШЕВ

Принципы организации высокоточных навигационных определений в задачах управления движением подвижного состава ОАО «РЖД»305

А.Ю. КАПЛИН, М.Г. СТЕПАНОВ, В.В. ЕЛИШЕВ

Принципы организации цифровой радиосвязи для управления движением подвижного состава ОАО «РЖД»311

С.Н. ПОПОВ, В.В. МОИСЕЕВ

Анализ особенностей последовательного обмена данными между радиоэлектронными узлами носимой и мобильной аппаратуры315

А.В. ВЕРЕЩАГИН, М.Ю. ЧЕРЕПОВ, А.В. КОТОВ, В.В. ШИФРИН

Усилитель мощности передатчика дискретно-адресного вторичного радиолокатора319

А.А. ТАРАСЕНКОВ, В.Н. ФЕНОГА

Исследование экстремальных методов решения обратной задачи вращения326

А.А. ТАРАСЕНКОВ, В.Н. ФЕНОГА

Основные принципы построения магнитометрической системы контроля пространственного положения летательного аппарата332

А.А. ТАРАСЕНКОВ, В.Н. ФЕНОГА

Магнитометрическая система контроля пространственного положения летательного аппарата .. 339

П.А. ГАЛАЙДИН, М.Ю. НИЯЗОВИЧ, Н.Р. АЛЕКСЕЕВИЧ, В.А. ТАБОРСКАЯ

Моделирование мехатронных систем с использованием цифровых сигнальных процессоров в реальном масштабе времени в среде MatLab345

О.В. СВЕШНИКОВ

Особенности синтеза трехмерных радиолокационных изображений объектов, выполненных по глубокой технологии «Stealth»351

А.А. СОРОКИН, Д.А. ХРОМИХИН

Система управления релаксационной термобикамерой355

Ю.В. ПЕТРОВ, В.А. РОГОЖИН, С.Д. МАКСИМОВ

Измерение скорости движения носителя в радиолокаторе с синтезированной апертурой .. 360

С.Н. АНИКИН, Ю.В. ПЕТРОВ

Микронавигационное обеспечение бортового радиолокатора высокого разрешения367

И.А. ЗИБОРОВ

К вопросу повышения эффективности радиолокационных измерений внешне баллистических параметров снаряда на траектории376

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ПРОГРЕСС»

В.И. ЧАЩИН, Б.А. СМЕРНОВ

Пути становления и основы модернизации производственно–технологического комплекса предприятия в условиях расширения спектра научных разработок и организации их серийного производства383

ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

Р.Г. ВАМПИЛОВ

Особенности структуры инновационного цикла изделий радиоэлектронного профиля393

20 ЛЕТ УСПЕХА НА ПУТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ



БЕРШАДСКАЯ

Татьяна Николаевна

к.т.н., генеральный директор

ОАО «Радиоавионика».

Заслуженный машиностроитель РФ



БЕЛОУСОВ

Николай Андреевич

Первый заместитель генерального
директора ОАО «Радиоавионика» –
директор НИИ «Союз».

Почетный машиностроитель РФ

В 2011 году открытое акционерное общество «Радиоавионика» отмечает 20-летие своей деятельности. За этот срок наша фирма преодолела путь от небольшой развивающейся компании до масштабной научно-производственной структуры общероссийского уровня. В настоящее время ОАО «Радиоавионика» по праву занимает одно из ведущих мест в ряду отечественных производителей радиоэлектронных систем, приборов и комплексов. В этой связи хотелось бы отметить основные этапы создания и функционирования нашего предприятия, а также кратко охарактеризовать перспективы дальнейшего развития.

Компания была учреждена в 1991 году по инициативе ряда крупнейших промышленных и научных предприятий радиоэлектронной и авиационной промышленности. В короткие сроки руководство фирмы завершило этап организационного становления и решило проблемы формирования материально-технической базы: приобретения производственных площадей, оснащения подразделений предприятия лабораторным и производственным оборудованием, современной вычислительной техникой, средствами транспорта и связи.

Уже на начальном этапе функционирования «Радиоавионики» был выбран путь диверсифицированного развития, предполагающего комплексные и взаимодополняющие исследования как в гражданском направлении, так и в военной сфере. При этом всегда приветствовалось творческое взаимодействие научных коллективов, максимальное использование новых конструкторско-технологических и схемных решений, испытанных на ответственной продукции, выпускаемой предприятиями оборонно-промышленного комплекса.

В настоящее время сфера научно-исследовательской и производственной деятельности ОАО «Радиоавионика» охватывает четыре четко выраженных направления, востребованных как отечественным, так и зарубежным рынками:

- разработка прикладных информационных технологий и средств их реализации;
- создание средств сверхширокополосной геолокации;
- разработка и производство приборов и комплексов неразрушающего контроля;
- разработка и производство систем железнодорожной автоматики.

Первое из указанных направлений нацелено на создание средств индивидуального приборного оснащения военнослужащих общевойсковых подразделений, подразделений войсковой разведки сухопутных войск, а также других родов войск для повышения эффективности решения задач информационного обеспечения и управления, включая связь, навигацию, выдачу сведений об обнаруженных объектах, выработку данных для применения оружия. Важнейшим результатом работ по данному направлению является создание комплекса разведки, управления и связи (КРУС) «Стрелец», принятого на снабжение Вооруженных Сил и поставляемого предприятием в рамках выполнения Государственного оборонного заказа. В настоящее время специалистами компании выполняется масштабный комплекс работ по модернизации КРУС, направленной на его дальнейшее совершенствование, расширение функциональных возможностей и улучшение тактико-технических, эргономических и стоимостных характеристик.

В области создания *средств сверхширокополосной геолокации* велась разработка и создание сверхширокополосных радиолокационных измерителей для обнаружения и классификации подповерхностных объектов (металлических и неметаллических мин, а также проводных линий управления инженерными боеприпасами). Искатели взрывоопасных предметов ИВП-РЛ 1 и ИВП-РЛ 2, а также переносной искатель проводных линий управления инженерными боеприпасами, созданные специалистами нашей компании, приняты на снабжение Вооруженных Сил РФ.

С 2008 года ОАО «Радиоавионика» включено в государственный Реестр единственных поставщиков российских вооружения и военной техники по соответствующей номенклатуре.

Особо следует отметить комплекс работ, направленных на внедрение научного задела в области сверхширокополосной радиолокации (СШП РЛ) в сферу гражданского применения. Это касается возможностей использования методов СШП РЛ в диагностике автомобильных и железных дорог, памятников истории и архитектуры, а также других значимых объектов (зданий, сооружений, мостов, набережных, взлетно-посадочных полос и др.).

В числе особо значимых объектов культурного наследия, которые были обследованы специалистами предприятия с помощью радиолокационных методов, необходимо выделить памятник Николаю I на Исаакиевской площади, скульптурную группу Атлантов портика Нового Эрмитажа, пещерный храм Свято-Успенского Псково-Печерского монастыря и др.

В настоящее время ведется разработка георадиолокационного комплекса (ГЛК) реального времени, предназначенного для интегрирования его в технический и информационный комплекс вагона-дефектоскопа «АВИКОН-03М». Включение такого комплекса в состав вагонов-дефектоскопов даст возможность осуществлять неразрушающий контроль состояния не только рельсового пути, но и железнодорожного полотна и насыпи.

С 2009 года ОАО «Радиоавионика» внесено в Реестр инновационных организаций Санкт-Петербурга, а продукция предприятия (аппаратура и технологии неразрушающего контроля с использованием метода СШП РЛ зондирования) включена в Перечень инновационной продукции предприятий РЭК для нужд городского хозяйства.

Используя опыт создания военной техники, предприятие успешно включилось в работу по созданию конкурентоспособных радиоэлектронных приборов, систем и комплексов для гражданского применения. Это средства неразрушающего контроля (ультразвуковая дефектоскопия) и системы железнодорожной автоматики (системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов, системы автоблокировки, совмещённые питающие установки).

Одной из приоритетных задач деятельности фирмы практически с момента ее основания является создание *средств неразрушающего контроля* (СНК). В сентябре 1993 года решением МПС РФ ОАО «Радиоавионика» было определено головным разработчиком и производителем СНК. В 1994 году разработаны и утверждены первые технические задания на двухниточный ультразвуковой дефектоскоп «АВИКОН-01», портативный дефектоскоп для контроля сварных стыков и отдельных сечений рельсов «АВИКОН-02Р» и первый совмещенный вагон-дефектоскоп (СВД) на базе ультразвукового и магнитного методов неразрушающего контроля рельсов, оснащенный дефектоскопическим комплексом «АВИКОН-03».

В основу разработки новых дефектоскопических средств была заложена концепция применения новых технических решений и самой современной элементной базы. Работы велись в тесном сотрудничестве с профильными департаментами МПС и, впоследствии, ОАО «РЖД», Октябрьской, Западно-Сибирской, Северо-Кавказской, Московской и другими железными дорогами. В настоящее время свыше 1 300 съёмных дефектоскопов различных модификаций функционируют на всех 17-ти российских железных дорогах, а также на дорогах Англии, Азербайджана, Венгрии, Казахстана, Канады,

Ливии, Мавритании, Турции, Украины, Франции и Эстонии. Наряду с этим специалистами предприятия изготовлено, отлажено и передано в эксплуатацию на железные дороги 17 СВД.

В числе последних научных достижений коллектива предприятия в данной сфере следует выделить модернизацию дефектоскопического комплекса «АВИКОН-03М» и оснащение его дополнительной аппаратурой с расширенными функциональными возможностями, обеспечивающими не только дефектоскопию рельсов, но и диагностику многих элементов инфраструктуры. Также специалистами НТК СНК разработана серия новых дефектоскопов типа АВИКОН-14, АВИКОН-15 и АВИКОН-17 с принципиально новыми техническими решениями.

Особо следует отметить разработку автоматизированного многоканального дефектоскопа МИГ-УКС, предназначенного для ультразвукового контроля электроконтактных сварных стыков рельсов. Его задачей является исключение участия оператора в процессе сканирования, повышение производительности, а также формирование документа контроля для каждого проверенного сварного стыка. Первые результаты эксплуатации МИГ-УКС показали, что среднее время контроля одного сварного стыка сокращается в несколько раз по сравнению с ручным контролем.

Основные технические решения, заложенные в основу создания дефектоскопической техники, защищены авторскими свидетельствами и патентами. Только за последние несколько лет по тематике СНК получено более 20 патентов на изобретения.

Учитывая, что разрабатываемые приборы представляют собой сложные радиоэлектронные комплексы, их эффективная эксплуатация и техническое обслуживание должны осуществляться исключительно квалифицированными кадрами. В этой связи с 2003 года на базе ОАО «Радиоавионика» открыт Центр подготовки специалистов, лицензированный Комитетом по высшему образованию Санкт-Петербурга и работающий по утвержденным ОАО «РЖД» программам обучения. За годы работы Центра обучено более 2 600 специалистов со всех железных дорог России, с крупных промышленных предприятий, метрополитенов и железных дорог Украины и Казахстана.

Характеризуя достижения ОАО «Радиоавионика» в сфере создания микропроцессорных *систем железнодорожной автоматики и телемеханики* (ЖАТ), необходимо отметить, что первая отечественная микропроцессорная система управления движением поездов ЭЦ-ЕМ на базе УВК РА спроектирована специалистами ОАО «Радиоавионика» совместно с ГТСС и введена в опытную эксплуатацию на станции Новый Петергоф Октябрьской железной дороги в октябре 2000 г., а в апреле 2001 г. принята в постоянную эксплуатацию. Одновременно с этим приемочной комиссией МПС РФ было принято решение о тиражировании систем ЭЦ-ЕМ на сети железных дорог России.

В январе 2006 года между ОАО «Радиоавионика» и ОАО «РЖД» был заключен первый в практике отечественных железных дорог долгосрочный договор, предусматривающий выполнение работ по оборудованию железнодорожных станций и перегонов микропроцессорными системами ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ.

За весь период работ по данному направлению системы электрической централизации ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ на базе УВК РА введены в эксплуатацию на 90 железнодорожных станциях (более 2 200 стрелок) и 18 перегонах (более 330 км. автоблокировки). Одно из наиболее значимых достижений коллектива предприятия в этой области — оборудование системой ЭЦ-ЕМ станции Бологое Октябрьской ж.д. на скоростном ходу участка Санкт-Петербург - Москва, которая является одним из крупнейших и важных объектов ОАО «РЖД». С 2011 года станция запущена в постоянную эксплуатацию.

Важным этапом работ по усовершенствованию УВК РА, а, следовательно, и систем ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ в целом, следует считать разработку устройств связи с объектами для бесконтактного управления огнями светофоров и стрелочными приводами (УСО БК). Использование УСО БК позволяет существенно сократить количество реле, повысить надежность и улучшить эксплуатационные характеристики системы.

Ввод системы ЭЦ-ЕМ с УСО БК в опытную эксплуатацию осуществлен в июне 2011 г. на ст. Молодежная Малой Октябрьской ж.д. В настоящее время проводятся работы по расширению полигона опытной эксплуатации ЭЦ-ЕМ с УСО БК и подготовка к серийному производству.

Для обеспечения электропитанием релейных и микропроцессорных систем централизации и автоблокировки специалистами компании разработаны и создаются совмещенные питающие установки (СПУ) на базе устройств бесперебойного питания (УБП). С 2002 года СПУ внедрены и успешно эксплуатируются более чем на 200 станциях и перегонах железных дорог России. Данными системами оборудованы участки Санкт-Петербург - Москва - Нижний Новгород и Санкт-Петербург – Хельсинки, по которым осуществляется высокоскоростное движение поездов нового поколения «Сапсан» и «Аллегро».

С 2005 года нами ведется сервисное сопровождение функционирующих систем ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ, рациональная организация которого обеспечивается качественным удаленным мониторингом. Информация о техническом состоянии эксплуатируемых систем поступает в сервисный центр по каналам Системы передачи данных РЖД. Сервисный центр осуществляет также круглосуточную консультативную и техническую помощь эксплуатационному персоналу железных дорог и проводит его обучение при вводе систем ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ в эксплуатацию.

Развивающиеся в ОАО «Радиоавионика» научные направления, их структурная организация и внутренняя взаимосвязь позволяют уверенно говорить о готовности нашего предприятия к работам по диагностике и обслуживанию всей инфраструктуры железных дорог. Целенаправленная работа по расширению функциональных возможностей разрабатываемых изделий является гарантией такой готовности.

Подводя некоторые итоги деятельности ОАО «Радиоавионика» за истекший период, хотелось бы отметить, что двадцать лет успешной работы являются лишь начальным этапом становления компании, периодом формирования долгосрочных партнерских отношений и создания высокой деловой репутации. Постоянное участие компании в Комплексной программе модернизации средств ЖАТ с внедрением отечественных микропроцессорных систем, Программе повышения безопасности движения ОАО «РЖД», а также выполнение заданий Государственного оборонного заказа убедительно доказывает нашу способность эффективно реализовывать программно-целевые разработки, ориентированные на конечный результат.

За 20 лет в нашей компании создан надежный фундамент для дальнейшего динамичного развития, что подтверждается высокими экономическими показателями хозяйственной деятельности. Имеющийся научно-технический задел в совокупности с производственными и кадровыми ресурсами позволят не только сохранить достигнутые результаты, но и значительно повысить их уже в ближайшей перспективе.

Главным же итогом двадцатилетней деятельности нашей фирмы является формирование и сохранение коллектива единомышленников, обладающих высокой квалификацией и способных решать практически любые задачи на передовых рубежах науки, техники, экономики и производства. На сегодняшний день у нас работают более 700 человек, в том числе 4 доктора наук и 36 кандидатов наук, в полной мере реализующих свой интеллектуальный и творческий потенциал на благо компании.

Настоящее издание посвящено краткому обзору ведущих научно-технических направлений, разрабатываемых специалистами ОАО «Радиоавионика».

ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ



В.И. ТАЛАЛАЕВ
Заместитель
генерального директора
ОАО «Радиоавионика»,
к.т.н.

1. О направлениях деятельности компании

Компания «Радиоавионика» ведет последовательную политику в области разработки и поставки технических средств для инфраструктурных объектов ОАО «РЖД». Это, прежде всего, современные микропроцессорные системы электрической централизации (ЭЦ-ЕМ), которые тиражируются сегодня на железных дорогах России. В систему ЭЦ-ЕМ интегрирована централизованная автоблокировка АБТЦ-ЕМ. Для обеспечения надежной работы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ разработаны и поставляются в комплексе установки электропитания, собранные на современной элементной базе, со сниженной трудоемкостью обслуживания.

Наряду с комплексом систем управления движением, наша компания с первых дней ведет разработки современных средств неразрушающего контроля состояния рельсов. Поставляемые ныне приборы АВИКОН-02Р, АВИКОН-11, МИГ-УКСМ, вагон-дефектоскоп с аппаратурой АВИКОН-03М и ряд других нашли широкое применение в хозяйстве пути, что не только повышает надежность инфраструктуры, но и предупреждает нарушения, связанные с безопасностью движения поездов.

Стратегия компании не ограничивается увеличением объемов поставок оборудования. Мы ведем активную политику в области инноваций:

- расширение номенклатуры изделий и функциональных возможностей устройств и систем;
- применение современных программных продуктов и радиоэлектронных элементов.



Рис. 1. Вице-президент ОАО «РЖД» Воробьев В.Б. знакомится с новейшими разработками ОАО «Радиоавионика» на международной выставке в г. Калуга (сентябрь 2010 г.)

2. Совершенствование микропроцессорных систем управления движением

2.1. Расширение функций

Целью проводимых работ по расширению функций системы ЭЦ-ЕМ является создание комплекса устройств, который позволял бы в зависимости от категоричности железнодорожных линий, технологических задач конкретных участков и станций железных дорог строить системы управления по модульному принципу, то есть создавать возможность реконфигурировать набор технических средств под задачи реального участка и программным путем обеспечивать выполнение заданных функций. Технологической основой расширения функциональных возможностей является:

- производство аппаратуры на основе автоматизированных рабочих мест и внедрение SMT-технологии изготовления печатных плат;
- применение в УВК РА новейшей элементной базы и модернизированного программного обеспечения (осуществленных в процессе подготовки программно-аппаратных средств для контроля и управления крупными станциями).

Программно-аппаратной основой расширения функциональных возможностей являются:

- магистрально-модульная организация отдельных устройств и комплекса в целом;
- применение стандартных интерфейсов, обеспечивающих рациональную увязку с другими системами;
- использование методов объектно-ориентированного программирования с применением конечно-автоматного подхода к разработке логических функций;
- открытость архитектуры программного обеспечения, позволяющая значительно сократить сложность разработки и адаптации ПО при расширении функциональности.

К основным направлениям работ по расширению функциональных возможностей относятся:

- внедрение объектно-ориентированного УСО бесконтактного контроля и управления стрелочными электроприводами и огнями светофоров;
- создание безопасной отказоустойчивой вычислительной сети, обеспечивающей взаимодействие между комплексами отдельных зон управления, перегонов и станций;
- разработка объектно-ориентированного бесконтактного УСО для контроля рельсовых цепей и формирования кодов АЛСН (АЛС-ЕН) с цифровой обработкой сигналов;

- полунатурное моделирование системы координатного интервального регулирования на базе цифровых радиоканалов и спутниковой навигации для малодеятельных участков;
- отработка малого комплекса железнодорожника;
- создание модуля контроллера (МК-4) нового поколения повышенной производительности и увеличенным числом интерфейсов для увязки с различными устройствами и системами, позволяющего повысить надежность систем, включенных в безопасную отказоустойчивую сеть;
- интеграция ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ с линейным пунктом ДЦ;
- увязка ЭЦ-ЕМ с системами АБТЦ-М, МАЛС, САУТ;
- отработка программно-аппаратных средств спутниковой навигации и взаимодействия ЭЦ-ЕМ с подвижными единицами по цифровому радиоканалу.

Внедрение объектно-ориентированных бесконтактных УСО позволяет:

- уменьшить объем проектных и строительных работ;
- существенно снизить объем регламентных работ;
- снизить эксплуатационные расходы;
- существенно уменьшить количество реле;
- производить изготовление и отладку микропроцессорных систем централизации и автоблокировки в заводских условиях;
- автоматизировать контроль сопротивления изоляции входных и выходных цепей.

Комплексное решение задач по совершенствованию технологии производства компонентов системы, расширению функциональных возможностей системы позволит в последующем создавать системы управления как для малодеятельных линий, так и линий средней напряженности, интенсивным движением скоростных и высокоскоростных линий, используя единый ряд технических средств и систем.

2.2. Обеспечение безопасности и надежности

В существующих УВК РА и создаваемых программно-аппаратных средствах для расширения функциональных возможностей ЭЦ-ЕМ основой для обеспечения безопасности и надежности являются:

- трехканальная организация;
- переход в безопасное отключенное состояние в случае отказов;
- развитая система диагностирования и мониторинга предотказных состояний;
- восстановление отказавших модулей путем «горячей» замены без нарушения функционирования.

Испытательный центр ПГУП ПС провел все необходимые испытания на безопасность и ЭМС. Кроме того, в части функциональной безопасности получен Европейский Сертификат TÜV в соответствии с железнодорожными стандартами CENELEC. Получен Сертификат Соответствия № 1470 на отсутствие недекларированных возможностей (НДВ). В части защиты от несанкционированного доступа утвержден документ «Технические решения по реализации функции защиты от несанкционированного доступа в ЭЦ-ЕМ».

2.3. Комплексная система автоматизированного управления движением (КСАУД)

Формирование команд при выборе режима движения поезда при КСАУД зависит не только от параметров самого поезда, но и от состояния инфраструктуры. Для этого необходима информация о наличии ограничения скорости на отдельных участках проводимых ремонтных работ. Все эти данные уже сегодня существуют в Центре мониторинга объектов инфраструктуры. Взаимодействие КСАУД с Центром мониторинга позволит повысить эффективность управления движением поездов при обеспечении высокого уровня безопасности.

3. Методы повышения эффективности использования данных средств неразрушающего контроля

Мировой опыт эксплуатации железных дорог, а также первые итоги реформирования ОАО «РЖД» указывают на необходимость автоматизации сбора и анализа диагностических данных о состоянии объектов инфраструктуры. Целями автоматизации являются: исключение субъективного фактора при получении первичной информации, исключение ошибок при анализе данных, полнота данных при комплексном анализе информации, оптимизация временных и людских затрат при планировании ремонтных работ. Конечной целью создания системы является уменьшение эксплуатационных расходов, связанных с поддержанием объектов инфраструктуры в технически исправном состоянии, необходимом для обеспечения безопасности перевозок при установленных скоростях движения.



Рис. 2. Обсуждение возможности создания перспективных разработок в ОАО «Радиоавионика»

3.1. Нарботки ОАО «Радиоавионика»

На российских железных дорогах с интенсивным грузовым и пассажирским движением (в том числе и высокоскоростным) необходимы технические средства, позволяющие регулярно и с высокой точностью измерять параметры инфраструктуры для своевременного устранения отклонений от норм содержания.

ОАО «Радиоавионика» предлагает постепенный переход к комплексному сбору, отображению и анализу данных о состоянии инфраструктуры. При этом основывается на опыте создания программных пакетов для отображения информации с дефектоскопических средств:

- программы отображения для съемных и мобильных средств диагностики;
- программно-аппаратный комплекс средств неразрушающего контроля (ПАК-НК) для совместного анализа дефектоскопической информации с разных средств диагностики;
- программа «График» для расчета периодичности работ по неразрушающему контролю рельсов средствами диагностики пути.

3.2 Система комплексного анализа данных

Закончены работы по расширению функциональных возможностей вагона-дефектоскопа. Установка двенадцати видеокамер с системой регистрации с обработкой изображений позволяет определить неисправности рельсов, креплений, элементов устройств СЦБ. В будущем оснащение комплекса георадаром позволит выявить недостатки земляного полотна. Установка систем измерения параметров рельсовых цепей, определения величин стыковых зазоров совместно с температурой расширит функциональность системы и повысит эффективность комплексного анализа. Важно не только установить системы для всесторонней диагностики объектов инфраструктуры, но и обеспечить их точную синхронизацию и «привязку» к координате пути.



Рис. 3. Вагон-дефектоскоп нового поколения с аппаратурой АВИКОН-03М реализует три метода неразрушающего контроля (магнитный, акустический и визуальный)

Необходимо начать работы по автоматизации рабочих мест для комплексного анализа в центре диагностики Октябрьской железной дороги. Автоматизация сбора информации с линейных подразделений, проверка исходных данных, наглядное графическое представление, выдача необходимых форм отчетности, формирование рекомендаций по планированию работ позволят значительно снизить количество ошибок, сократить временные затраты, уменьшить влияние субъективного фактора. По мере возложения на Центр диагностики больших функций по диагностике объектов инфраструктуры одновременно будут расширяться и возможности разрабатываемого программного обеспечения.

Создаются программные модули для импорта необходимых данных из АСУ-Путь, АСУ-Э, АСУ-Ш, АСУ-ЗП в реальном масштабе времени. Эти данные являются основой для правильного принятия решений. Необходимо подключение организаций-разработчиков данных АСУ для обеспечения правильного сбора данных (необходимо знание формата данных или создание специальных модулей). Кроме того, данное программное обеспечение должно обеспечивать удаленный ввод данных по результатам работы ручных средств диагностики.

Учитывая большой опыт построения приборов и программ для массового использования, нам удалось разработать весьма удобное и наглядное представление данных при комплексном анализе с учетом требований инструкции № 1577-р. Программное обеспечение может быть дополнено данными других средств диагностики. Оно позволяет просмотреть информацию о состоянии инфраструктуры любого участка железной дороги не только в масштабе отделения, но и дистанции, околотов или по каждому километру.

Программное обеспечение позволяет при необходимости отобразить первичную запись средства диагностики (дефектограмма средства контроля или др.) по конкретной точке железной дороги. Для вызова данных средств неразрушающего контроля рельсов сторонних организаций могут быть использованы программные модули ПАК-НК, а для отображения первичных данных других средств диагностики потребуется сотрудничество с разработчиками данных средств.

3.3. О реализации проекта

Данная работа может быть выполнена поэтапно. Первым этапом идет начало совместной работы с центром диагностики Октябрьской железной дороги по автоматизации рабочих мест по сбору данных, диагностике, комплексному анализу, отчетности.

На втором этапе планируется разработка программного обеспечения для автоматизированного динамического импорта из АСУ-П и других АСУ же-

лезнодорожной инфраструктуры с последующей разработкой программного обеспечения для визуального и табличного представления информации в различных сочетаниях с высокой степенью наглядности, для последующего анализа и принятия решений.

Прием данных непосредственно со всех существующих средств диагностики инфраструктуры затруднен из-за различия в форматах данных. Необходимо проведение совместной работы с другими российскими разработчиками. Третьим этапом является расширение функциональных возможностей действующих средств диагностики.

4. Предложения по организации системы комплексного обслуживания и ремонта объектов инфраструктуры

В основу системы комплексного обслуживания должно быть положено следующее:

4.1. Система диагностики и мониторинга по всем видам объектов инфраструктуры с максимальным объемом инструментальной оценки параметров устройств и их регистрацией в системе мониторинга.

4.2. Информационно-аналитическая система оценки состояния технических средств, как по видам устройств, так и интегральная оценка по совокупности измеренных параметров, приведенная к километру пути, перегону или более крупному показателю.

4.3. Планирующая система, которая на основе фактического и прогнозируемого состояния выдаст рекомендации по организации содержания объектов инфраструктуры с учетом видов ремонта, как по отдельным элементам инфраструктуры, так и по комплексу в целом.

4.4. Автоматизированная система контроля за устранением выявленных недостатков, производством плановых и предупредительных видов ремонта.

Кроме этого, система должна обеспечивать расчет:

- потребного штата по текущему содержанию и ремонту объектов инфраструктуры с учетом комплексной оценки их состояния;
- потребности в материалах, средствах механизации с учетом прогнозной оценки инфраструктуры;
- вариантов организации ремонтных работ с учетом комплексности производства работ, продолжительности «окон», потребности механизмов;
- эффективности от проводимых работ: отмена предупреждений, поднятие скоростей движения, весовой нормы поездов для этого участка.



СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

20 ЛЕТ. ТРУДНЫЙ ПУТЬ К УСПЕХУ



А.А. МАРКОВ

*Зам. директора НИИ «Союз»
по перспективным направлениям
развития систем управления
и диагностики на ж.д. транспорте,
Директор НТК СНК.
Доктор технических наук,
«Почетный машиностроитель».
Выпускник ЛИИЖТа (ПГУПС).
В ОАО «Радиоавионика» с 1992 г*

Рассмотрена история становления и развития в ОАО «Радиоавионика» направления по разработке современных систем неразрушающего контроля рельсов и других изделий. Приведены этапы деятельности по разработке и поставке средств дефектоскопии. Инновационные технические решения, созданные в процессе разработки, внедрены в серийные приборы и технологии. В результате деятельности НТК СНК средства диагностики эффективно эксплуатируются на железных дорогах России и ряда зарубежных стран.

Начало

Предпосылкой к развитию работ по неразрушающему контролю рельсов в ОАО «Радиоавионика» можно считать

первое появление молодого инженера НИИ Мостов ЛИИЖТа А. Маркова в «ВОЕНМЕХе» в июне 1981 года. Он пришел за консультацией к заведующему кафедрой «Радиоэлектронные системы управления» А.А. Коростелеву, автору многих трудов и учебников по теоретическим основам радиолокации. После двухчасового рассказа инженера о его задумках по созданию скоростного (до 90 км/ч) вагона-дефектоскопа с излучением непрерывных ультразвуковых колебаний и выделением эхо-сигналов от дефектов на базе эффекта Доплера А.А. Коростелев поручил молодому аспиранту Е.Э. Чернышову подключиться к этой проблеме.

Будущий генеральный директор ОАО «Радиоавионика» – Евгений Эйжениевич Чернышев – не раз возвращался к этой теме как при оформлении кандидатской, так и при работе над докторской диссертацией. Совместно с сотрудниками НИИ Мостов иногда до часа ночи проводились эксперименты по выделению и распознаванию ориентации объектов в однородной среде. Выяснилось, что задача выделения эхо-сигналов на фоне помех при скоростном контроле рельсов из-за малого числа принимаемых импульсов иногда сложнее, чем локация объектов в космическом пространстве.

Прошли годы. В ноябре 1992 года в МПС РФ был поднят вопрос о необходимости разработки нового вагона-дефектоскопа. Состоялась срочная встреча А. А. Маркова в ХК «Ленинец» с Е.Э. Чернышовым и его за-

местителем по экономике и финансам Т.Н. Бершадской по обсуждению вопроса о возможности создания вагона-дефектоскопа нового поколения на базе ОАО «Радиоавионика». По предложению Татьяны Николаевны было принято решение взяться за разработку и изготовление не только дефектоскопической аппаратуры, а всего вагона-дефектоскопа в целом. В мае 1993 г такой договор с МПС России был подписан.

Становление

Работы в ОАО «Радиоавионика» начались не только по созданию вагона-дефектоскопа с аппаратурой АВИКОН-03, но и по инициативе профессора А.К. Гурвича - целого комплекса средств неразрушающего контроля рельсов: двухниточного съёмного дефектоскопа АВИКОН-01, переносного ультразвукового (у.з.) дефектоскопа АВИКОН-02, комплекта стандартных образцов СО-1 – СО-4 и др. В этих приборах и средствах страна остро нуждалась, так как в связи с развалом СССР основной производитель средств дефектоскопии рельсов - ПО «Волна», со специально построенным для этих целей заводом «Электроточприбор», оказался за границей (Молдова).

Работы велись молодым коллективом - вначале под руководством выпускника «ВОЕНМЕХа» С.В. Киселева (1993-1997 г.г.), потом – А.Т. Казаченко (1997-1999 г.г.). В 2000-2003 г.г. под руководством Н.А. Белоусова коллектив приступил к разработке приборов нового поколения: регистраторов сплошного контроля РИ-01 для двухниточных дефектоскопов АВИКОН-01, установок для входного и выходного контроля рельсов и сварных стыков рельсосварочных предприятий (РСП), серийного выпуска портативного дефектоскопа АВИКОН-02Р и аппаратуры АВИКОН-03М. После перехода Н.А. Белоусова на должность первого зам. Генерального директора – директора НИИ «Союз» для решения задач всей организации ОАО «Радиоавионика» руководство НТК Систем неразрушающего контроля было поручено д.т.н. А.А. Маркову (с 2004 г. – по настоящее время).

В состав вновь созданного научно-технического комплекса (НТК СНК) вошли научно-технические центры (НТЦ) разработки съёмных и переносных (под руководством к.т.н. М.Н.Шилова) и мобильных (П.Г. Политай) средств неразрушающего контроля, а также Отдел конструкторской документации и сопровождения производства (В.А. Бовдей).

Продукция

В октябре 2005 г. внесен в Государственный реестр средств измерений новейший дефектоскоп сплошного контроля рельсов – АВИКОН-11, превосходящий по своим технико-эксплуатационным характеристикам АВИКОН-01. В этом же году на базе данного прибора разработана и изготовлена установка для контроля рельсов на рельсосварочном предприятии АВИКОН-11РСП.

С января 2006 года две установки успешно эксплуатируются на РСП-8 Северной ж.д. Впоследствии аналогичные установки внедрены на РСП-31 Северо-Кавказской ж.д. и РСП-29 (Зап-Сиб. ж.д.).

Проведена масштабная работа по модификации совмещенного вагона-дефектоскопа, оснащаемого новым улучшенным дефектоскопическим комплексом АВИКОН-03(М). Впервые на нашем вагоне внедрена система видеорегистрации рельсов, синхронизированная с данными дефектоскопических каналов. Жесткая привязка видеокадров к сигналам ультразвуковых и магнитных каналов значительно помогает при принятии решения о качестве контролируемых сечений рельсов (рис.1).

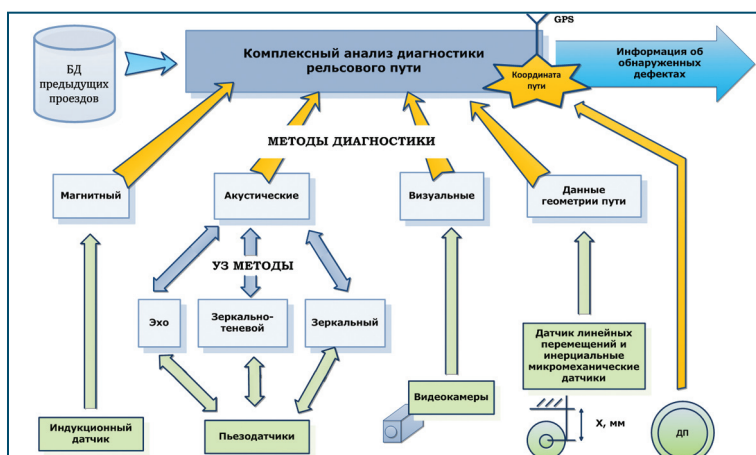


Рис.1. Структура сбора и анализа комплексной диагностической информации вагоном-дефектоскопом с расширенными функциональными возможностями

Расширение функциональных возможностей вагона-дефектоскопа в последние годы реализовано путем повышения каналов видеорегистрации (до 12 камер, в том числе и управляемых) и введения инерциальной системы измерения отдельных параметров геометрии рельсового пути. Комплексный анализ получаемой вагоном-дефектоскопом информации позволяет дополнительно повысить вероятность обнаружения дефектов в рельсах.

Начиная с 2000 г., на Российских железных дорогах протяженность бесстыкового пути ежегодно возрастает на 3–3,5 тыс. км, охватывая на сегодняшний день более 65% протяженности главных путей. Естественно, применяемая до настоящего времени технология ручного контроля сварных стыков не может обеспечить требуемую производительность и надежность контроля.

Перечисленные выше обстоятельства продиктовали необходимость создания нового автоматизированного многоканального дефектоскопа МИГ-УКС для ультразвукового контроля электроконтактных сварных стыков

рельсов. Его задачей является исключение участия оператора в процессе сканирования, повышение производительности, а также формирование протокола контроля для каждого проверенного сварного стыка.

Первые опытные образцы МИГ-УКС разработки 2005 -2007 г.г., обеспечивающие озвучивание сварного сечения с двух статических положений дефектоскопа, не полностью удовлетворили требованиям ОАО «РЖД». Доработка МИГ-УКС путем введения сканирования на локальном участке заметно повысила достоверность контроля (рис.2).



Рис.2. Первые лица государства и ОАО «РЖД» знакомятся с новым многоканальным дефектоскопом МИГ УКС

Возможно кратковременное нарушение акустического контакта, что приводит к появлению «непроконтролируемых» участков пути. Как показывают наши исследования и зарубежный опыт, устранить этот недостаток можно путем использования систем качения (колесных ультразвуковых преобразователей), обеспечивающих ввод у.з. колебаний через упругую оболочку.

Естественно, задача ультразвукового контроля изделий с неидеальными поверхностями (с точки зрения ввода у.з. колебаний) является актуальной для всех отраслей промышленности, где используются акустические методы контроля. Однако в России до недавнего времени опыт использования колесных ультразвуковых преобразователей для НК металлоизделий отсутствовал.

В 2011 г. дефектоскоп успешно прошел строгие испытания приемочной комиссии ОАО «РЖД» и началось его внедрение на сети дорог. Эксплуатация как первых, так и модернизированных МИГ-УКСМ показала, что среднее время контроля одного сварного стыка составляет 3–3,5 мин., что в несколько раз меньше, чем при ручном контроле.

Традиционно все российские дефектоскопы сплошного контроля рельсов используют систему ввода у.з. колебаний, основанную на акустических блоках скольжения. Такие системы имеют несложную конструкцию, просты в эксплуатации и весьма надежны.

Однако при наличии любых неровностей на поверхности ка-

В связи с этим в 2008 г. в ОАО «Радиоавионика» были начаты работы по разработке многоканальных ультразвуковых колесных преобразователей. Пришлось решать весьма сложные задачи по размещению пьезопреобразователей разных типов в замкнутом пространстве колеса, по созданию конструкции самого колеса и системы подвески, а также по выбору и производству полиуретановых оболочек.

Решение этих задач дало возможность на базе существующего дефектоскопа АВИКОН-11 создать новый прибор АВИКОН-14, который отличается от прототипов не только новой системой ввода у.з. колебаний, но и новым подходом к построению радиоэлектронной части дефектоскопа. В данном приборе, а также в других новых дефектоскопах (АВИКОН-15, АВИКОН-17) в качестве устройства обработки и индикации дефектоскопической информации применяются компактные защищенные промышленные компьютеры. С одной стороны это упрощает построение дефектоскопа и сокращает сроки разработки, с другой – предоставляет существенно большие возможности по адаптации представления информации под конкретного потребителя.

Новые возможности дефектоскопа АВИКОН-14 создают предпосылки для постепенного изменения технологии сплошного контроля рельсов. До настоящего времени оператор съемного дефектоскопа принимал решение о дефектности изделия в пути только по явным дефектам. Значительная часть дефектов (до 20%) выявляется в стационарных условиях (на участке дефектоскопии) в процессе вторичного анализа дефектограмм, собранных дефектоскопной тележкой или мобильным средством НК.

Широкие возможности индикатора (дисплея) дефектоскопа АВИКОН-14 позволяют анализировать дефектограммы на повышенной чувствительности и обоснованно принимать решение о наличии или отсутствии дефекта непосредственно в пути.

Необходимость прибора для вторичного контроля – однопутного дефектоскопа-штанги, не уступающего по возможностям основным средствам дефектоскопии, для российских железных дорог назрела давно. Естественно, этот прибор должен обеспечивать сплошную регистрацию сигналов и дать возможность контролировать локальные участки пути протяженностью до 200 м. Такой многоканальный дефектоскоп АВИКОН-15 по заданию Департамента пути и сооружений ОАО «РЖД» разработан в течение 2009-2011 гг. Отличительной особенностью прибора является его исполнение в виде штанги, малые габариты и масса (не более 8 кг), схема прозвучивания, повторяющая схемы средств сплошного контроля последнего поколения, и, естественно, непрерывная регистрация сигналов по всем каналам.

Классический подход ультразвуковой дефектоскопии обеспечивает регистрацию измеряемых характеристик дефектов: коэффициента вы-

являемости Кд, глубины залегания и условных размеров (условной протяженности ΔL , ширины ΔX и высоты ΔH). При этом реальные размеры дефекта и его конфигурация остаются недоступными для анализа.

Многолетние исследования и знания реальной практики контроля позволили сотрудникам НТК СНК разработать прибор АВИКОН-17 для оценки реальных размеров дефектов в головке рельсов. Он позволяет просканировать локальный участок головки рельса и отобразить конфигурацию поперечной трещины на дисплее портативного компьютера. Полуавтоматический расчет измеренной площади дефекта и возможность его представления в виде 3D-изображения является оригинальным решением. Таким образом, основным результатом деятельности ОАО «Радиоавионика» в области неразрушающего контроля за два десятилетия явилась разработка и поставка на железные дороги более 10 наименований новых средств и программных продуктов для дефектоскопии рельсов, повышающих безопасность движения поездов (рис.3). Причем практически все разработанные приборы для своего времени были и остаются наиболее передовыми по техническим решениям и эффективными по выявляемости дефектов.

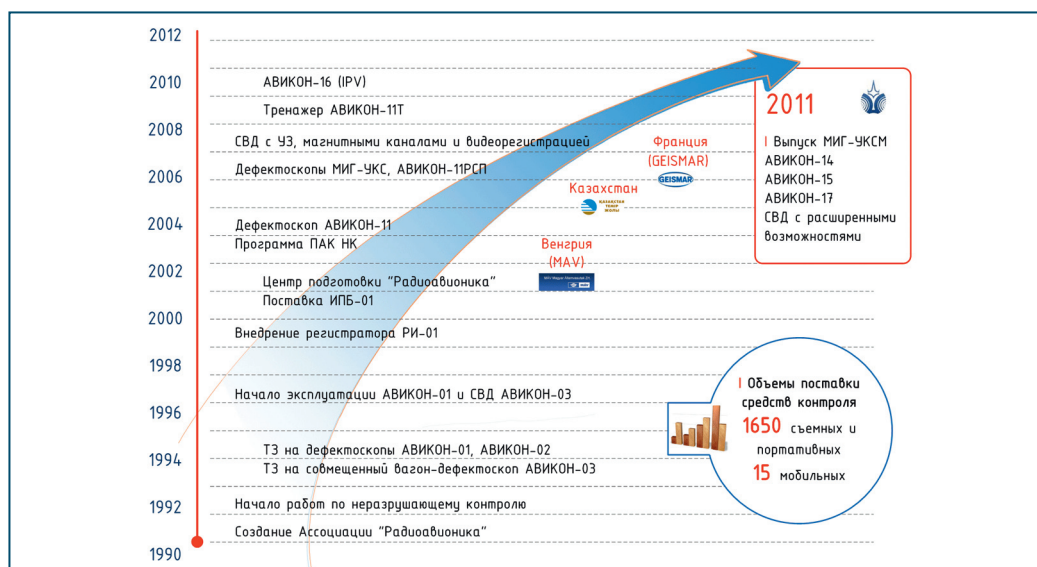


Рис.3. Этапы развития работ и объемы поставки средств неразрушающего контроля производства ОАО «Радиоавионика»

Внедрение

Внедрение любой современной дефектоскопической техники сопряжено с многочисленными испытаниями приборов (предварительные, эксплуатационные, приемочные и т.п.) в реальных условиях пути. В этом нам оказывают

неоценимую помощь работники Октябрьской ж.д. (начальник Центра диагностики А.С. Гапоненко и начальник отдела НК В.В. Ежов), Северо-Кавказской, Московской и Горьковской железных дорог, а также сотрудники рельсосварочных предприятий №8 (г. Ярославль, Северная ж.д.) и №1 (ст. Предпортовая, Окт.ж.д.).

Во многих приборах реализованы предложения и замечания линейных работников пути, высказанные в процессе испытаний. Это делает новые приборы наиболее адаптированными под конкретные условия эксплуатации в пути (низкие температуры, влажность, электромагнитные помехи). Управление нашими приборами, как правило, не требует высокой квалификации, т.к. они имеют продуманный интуитивно понятный интерфейс, также подсказанный непосредственными пользователями.

Научная деятельность

Разработка этих и других дефектоскопов, имеющих принципиальную новизну и оригинальную конструкцию, не была бы возможна без соответствующей научно-технической базы. Параллельно с проведением разработок приборов проводились научно-исследовательские работы, направленные на решение как отдельных технических, так и комплексных вопросов дефектоскопии рельсов.

По многим направлениям специалисты НТК СНК предложили инновационные технические решения в области НК. Наиболее важными из них являются:

1. Совмещение ультразвуковых и магнитных методов контроля в одном вагоне-дефектоскопе;
2. Построение многоканального съёмного дефектоскопа со встроенным микропроцессором и отображением информации в виде мнемонического изображения;
3. Новые методы обнаружения дефектов рельсов с помощью: зеркального, метода «два эхо», схем РОМБ и РОМБ+;
4. Электронно-акустическое устройство КРАБ для проверки многоканальных дефектоскопов;
5. Многоуровневая регистрация сигналов сплошного контроля и отображение (наложение) амплитудной огибающей донных сигналов на В развёртку;
6. Разработка требований по представлению дефектоскопической информации в многоканальных системах и программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля (ПАК НК). ПАК НК поставлен на все (400) дистанции пути ОАО «РЖД»;
7. Разработка автоматизированной многоканальной (до 70 каналов) установки МИГ-УКСМ для контроля сварных стыков в пути;

8. Разработка установки для контроля старогодних рельсов на рельсосварочных предприятиях (РСП) с представлением информации сплошного контроля на сервер РСП;
9. Разработка способа и устройства ввода у.з. колебаний через упругую оболочку («ультразвуковое колесо»);
10. Разработка способа и прибора для оценки реальных размеров дефектов в головке рельса (АВИКОН-17);
11. Разработка серии компьютерных обучающих программ, учебников по рельсовой дефектоскопии и дефектоскопа-тренажёра АВИКОН-11Т.

Особенно ценным в деятельности НТК СНК является то, что большинство разработок доведены до широкого внедрения. Результаты научной и конструкторской деятельности делают выпускаемые нами приборы уникальными в своих областях.

Каждый новый прибор, как правило, базируется на не менее чем двух-трех изобретениях, патентообладателем которых является ОАО «Радиоавионика». Только за последние годы по тематике НТК СНК получены более 20 патентов на изобретения и полезные модели.

Результаты научных работ в области НК регулярно публикуются в авторитетных журналах «Дефектоскопия» (Российская академия наук), «Путь и путевое хозяйство» (отраслевой журнал ОАО «РЖД»), «В мире неразрушающего контроля» и др., а также докладываются на Всероссийских и международных конференциях по НК и путевому хозяйству. Наши технические предложения неоднократно докладывались и на научно-технических советах ОАО «РЖД». Самые новые технологии, методики, технические решения, разработанные нашей организацией, становятся доступными для всех, кто работает для потребностей железных дорог России.

Все вновь разработанные средства НК периодически демонстрируются на международных и отраслевых выставках, основными из которых являются: ежегодная Международная выставка – ярмарка «Путевая техника и инфраструктура» (г. Калуга) и «Международный железнодорожный салон EXPO 1520» (ст. Щербинка, Экспериментальное кольцо ВНИИЖТа) (рис.4). Высокий уровень наших разработок подтверждается многочисленными дипломами, грамотами и медалями, полученными на этих выставках.

Зарубежные контакты

Работы по созданию современных высокоэффективных средств дефектоскопии и положительные результаты их эксплуатации на российских железных дорогах не остались незамеченными и зарубежными специалистами.



Рис. 4. На 10-й Европейской конференции по неразрушающему контролю

В конце 90-х – начале 2000 г.г. состоялись многочисленные встречи со специалистами по НК рельсов из Австралии, Китая, Индии и других стран. В 2005 г. подписано соглашение, и в 2008 г. поставлена аппаратура АВИКОН-03М для оснащения вагона-дефектоскопа для венгерских железных дорог. Обладая многими техническими преимуществами над аналогами, этот вагон-дефектоскоп и по сегодняшний день эффективно контролирует рельсы железных дорог стран центральной Европы (Венгрия, Австрия, Словения, Хорватия и др.).

Фирма «Жейсмар» (Франция) является поставщиком путевой техники практически для всех железных дорог мира. В результате подписанного в 2007 г. соглашения началось тесное сотрудничество между нашими фирмами в области дефектоскопии рельсов (рис. 5).

Успешная работа много лет ведется и со странами СНГ и Прибалтики. Вагон-дефектоскоп с тремя системами неразрушающего контроля успешно эксплуатируется на железных дорогах Казахстана, дефектоскопы АВИКОН-11 контролируют рельсы Бакинского метрополитена.

Перспективные направления

Железные дороги России продолжают развиваться: растет грузонапряженность, внедряется бесстыковой путь, повышаются скорости движения поездов. Несмотря на повышение качества рельсов, выпускаемых на металлургических комбинатах, количество задач по неразрушающему контролю не уменьшается. Первоочередными задачами, требующими скорейшего решения, по нашему мнению, являются:



Рис. 5. Испытания дефектоскопа АВИКОН-11 на железных дорогах Франции (TGV)

- увеличение скоростей контроля (что требует внедрение скоростного движения). Достигнутые скорости контроля рельсов с помощью вагонов-дефектоскопов (60 км/ч) накладывают ограничения на их эксплуатацию на скоростных участках пути;
- разработка новых технологий и средств контроля алюминотермитной сварки рельсов в пути;
- автоматизация анализа сигналов контроля рельсов съемными и мобильными средствами;
- разработка процедуры и оборудования для мониторинга рельсового пути для снижения эксплуатационных расходов.

Все указанные выше проблемы в настоящее время являются актуальными не только для России, но и для железных дорог ведущих стран мира. Эти и другие задачи неразрушающего контроля могут быть решены на базе создаваемого в ОАО «Радиоавионика» Научно-инженерного Центра неразрушающего контроля (НИЦ НКР). Наша организация имеет все необходимые ресурсы для скорейшего создания такого Центра.

Центр подготовки

Разрабатываемые приборы представляют собой сложные радиоэлектронные комплексы. Их эффективная эксплуатация и техническое обслуживание возможны лишь квалифицированными специалистами, специально обученными для работы с данной техникой. Профильные ВУЗы и техникумы дают только основы неразрушающего контроля и не в состоянии проследить за новейшими достижениями в области диагностики рельсов. В связи с этим с 2003 г. на базе ОАО «Радиоавионика» открыт Центр подготовки по неразрушающему контролю. Центр имеет Лицензию Комитета по высшему образованию Санкт-Петербурга и утвержденные ОАО «РЖД» программы обучения по дефектоскопии рельсов и железнодорожной автоматике.

За 9 лет обучено более 2500 специалистов со всех железных дорог России, с крупных промышленных предприятий, метрополитенов и железных дорог Украины и Казахстана. Занятия на этих курсах ведут непосредственные разработчики дефектоскопической аппаратуры – сотрудники НТК СНК. Тесный контакт слушателей, имеющих практический опыт работы по контролю рельсов, и разработчиков, создающих для них современную дефектоскопическую технику, приносят свои положительные результаты. Операторам, понимая идеологию построения приборов, проще обслуживать их в пути, разработчикам – создавать приборы, наиболее адаптированные к реальным условиям.

Центр подготовки «Радиоавионика» пользуется заслуженным авторитетом на железных дорогах страны, и с каждым годом количество желающих пройти у нас курсы повышения квалификации растет.

Коллектив НТК СНК

Естественно, весь комплекс изложенных выше работ по развитию систем дефектоскопии рельсов и других объектов ж.д. транспорта не мог быть выполнен без квалифицированного и эффективно работающего коллектива. В НТК СНК практически с первых дней работают выпускники кафедры «Методы и приборы неразрушающего контроля» ПГУПС (С.Л. Молотков, В.Н. Чуканов, О.Ф. Захарова, В.В. Мосягин, А.Б. Козьяков, В.О. Федотов), БГТУ им. Устинова (Д.А. Шпагин, В.А. Бовдей, М.Н. Шилов, Д.В. Федоренко, А.А. Шмелев, С.Б. Кононов, Р.М. Козлов, И.И. Погодин, Е.А. Кузнецова, А.Д. Шпагин, М.В. Кескинов, Д.О. Затолокин, Ю.А. Марков), ГУАП (П.Г. Политай, С.П. Маховиков, Ю.А. Трифонов, О.Б. Яковлев, Д.А. Дерюгин), ЛГУ (Д.В. Алексеев, А.В. Косенко), а также других ведущих ВУЗов России. Их интеллектуальный потенциал, инженерные знания, творческий подход и трудолюбие позволили создать целый комплекс новейших средств дефектоскопии рельсов, признанных как в России, так и за рубежом. Многие из них награждены дипломами и памятными знаками Всероссийского конкурса «Инженер года» и другими наградами.

В первые годы становления НТК СНК значительный вклад в выбор основных направлений деятельности и в разработку функциональных решений наших приборов внесли д.т.н., проф. А.К. Гурвич, к.т.н. Г.А. Антипов и Д.А. Шпагин, специалисты С.Л. Молотков, В.А. Бовдей, В.Н. Чуканов, И.Б. Поваров и др. Уже наблюдается преемственность поколений, и сыновья некоторых из основателей (А.Д. Шпагин и А.Г. Антипов) успешно работают в нашем подразделении.

Молодые выпускники ВУЗов последних лет (А.С. Афанасьев, Е.А. Максимов и М.А. Александрова) быстро освоили тонкости разработки современной диагностической техники и также начали вносить свой вклад в создание новой техники.

За прошедшее двадцатилетие на базе ОАО «Радиоавионика» создан и эффективно действует коллектив Научно-технического комплекса средств неразрушающего контроля (НТК СНК), способный решать самые сложные задачи в области разработки и внедрения средств дефектоскопии, имеющих мировой уровень.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВАГОНА-ДЕФЕКТΟΣКОПА С АППАРАТУРОЙ АВИКОН-03М



П.Г. ПОЛИТАЙ
Директор НТЦ РМСК

Рассмотрены особенности конструкции и новые возможности вагона-дефектоскопа на примере поставленного в 2011 г. Октябрьской ж.д. СВД-494.

Развитие конструкции и функциональных возможностей совмещенных вагонов-дефектоскопов на наш взгляд, происходит в нескольких направлениях:

1. Повышение возможностей дефектоскопического комплекса по выявлению дефектов;
2. Внедрение дополнительных каналов контроля (телевизионный, динамический и др.);
3. Внедрение дополнительного сервисного оборудования (GPS-ГЛОНАСС, измерение температуры рельсов);
4. Повышение эксплуатационных характеристик совмещенных вагонов-дефектоскопов (электрооборудование, электроподъем тележки, дизель-генераторная установка, подогрев воды, пневмосистема);
5. Улучшение бытовых условий (водоснабжение, качественная и удобная мебель, оснащение бытовой техникой).

Рассмотрим новации, реализованные на совмещенном вагоне-дефектоскопе с расширенными функциональными возможностями, на примере СВД-494 Октябрьской ж.д.

1. Для повышения возможностей дефектоскопического комплекса по выявлению дефектов:

1.1. Установлены дополнительные ультразвуковые датчики с углом ввода 70° и снабжены отдельными приемо-передатчиками на рабочую и нерабочую грани активные датчики 58°/58°-34°. На рис.1 представлено размещение аппаратуры дефектоскопического комплекса с 24-мя ультразвуковыми и 2-мя магнитными каналами;

1.2. Изменена конструкция искательной ультразвуковой системы с целью повышения ее гибкости и равномерности прижатия к поверхности катания. Усовершенствована конструкция протектора и исключены отсекатели, что обеспечило стабильный акустический контакт и многократно сократило расход контактирующей жидкости (рис. 2).

1.3. Установлена бесконтактная следящая система с магнитным приводом, что обеспечило наряду со снижением загрязнения поверхности

рельсов увеличение точности отслеживания оси рельса (рис. 3). Бесконтактная следящая система исключает возможность повреждения пути (стрелок) при проведении контроля рельсов.



Рис.1 – Размещение аппаратуры дефектоскопического комплекса



Рис.2 – Новая ультразвуковая искательная система (фрагмент)



Рис.3 – Новая бесконтактная следящая система

2. Внедрение дополнительных каналов контроля:

2.1. Телевизионный канал контроля (система многоканальной видеорегистрации МВР) обеспечивает сплошную видеорегистрацию рельсов, шпальной решетки и других элементов инфраструктуры в полосе отвода. Более подробно эта система описана в статье Д.В. Алексеева «Система синхронной видеорегистрации».

2.2. Динамический канал контроля (малогабаритная инерциальная система диагностики рельсового пути МИСД РП) обеспечивает измерение и регистрацию динамики взаимодействия ходовой тележки и рельсового пути с целью выявления участков пути с повышенными динамическими воздействиями. Это позволяет сконцентрировать внимание при обработке дефектоскопической информации на потенциально опасных участках пути. Для реализации этих возможностей на буксы нектловой ходовой тележки установлены 4 трехкоординатных датчика ускорений, по информации которых вычисляются параметры движения в системе рельс – колесо (рис.4). В результате математической обработки вычисляются величины (глубина) коротких (длиной до 1 метра) неровностей на поверхности катания рельсов с привязкой к путевой координате.



Рис.4 – Датчики ускорений на буксах

Система МИСД РП поддерживает совместный просмотр вычисленных параметров неровностей и информации от системы МВР, что позволяет установить причину возникновения выявленных неровностей пути (пробуксовины, смятие головки рельса в зоне сварки, дефекты поверхности катания и т.п.).

3. Внедрение дополнительного сервисного оборудования:

3.1. Система GPS-ГЛОНАСС обеспечивает привязку всей регистрируемой информации к текущей географической координате. Наличие в данных географических координат позволяет исключить грубые сбои в путевских координатах, вызванные неверным отбоем километровых столбов или ошибочным вводом исходного километра, существенно облегчает выход на натурный осмотр дефектного сечения в незнакомой местности. В настоящее время системы GPS-ГЛОНАСС не обеспечивают на территории России необходимую точность для выхода непосредственно на дефект, но дальнейшее развитие систем позволяет надеяться на это в будущем.

3.2. Система измерения температуры рельсов обеспечивает дистанционное измерение температуры рельсов в районе середины шейки со стороны рабочей грани. Одновременно система измеряет температуру окружающего воздуха. Система работает в инфракрасном диапазоне волн. Данные о температуре сохраняются в файлах проезда с привязкой к путевой координате. Измеренная температура совместно с данными о температуре закрепления и ширине зазоров в стыках позволяет определять наличие внутренних напряжений в рельсах и прогнозировать выбросы пути.

4. Повышение эксплуатационных характеристик совмещенных вагонов-дефектоскопов:

4.1. Новый совмещенный вагон-дефектоскоп оборудован интеллектуальной системой электроснабжения с микропроцессорным управлением. Разработанный для вагона-дефектоскопа электрощит обеспечивает не только коммутацию потребителей и защиту от коротких замыканий, но и учет фактического потребления в нагрузках с функцией коммутации нагрузок с учетом приоритетности. При этом при недостатке мощности отключаются второстепенные потребители при безусловном обеспечении энергией приоритетных потребителей (связанных с безопасностью движения, обеспечением выполнения основного функционального на-

значения и минимальным уровнем жизнедеятельности). Управление нагрузками осуществляется с помощью сенсорного экрана на электрошите. При включении нагрузок соответствующее табло меняет цвет и справа индицируется потребляемая мощность (рис.5).

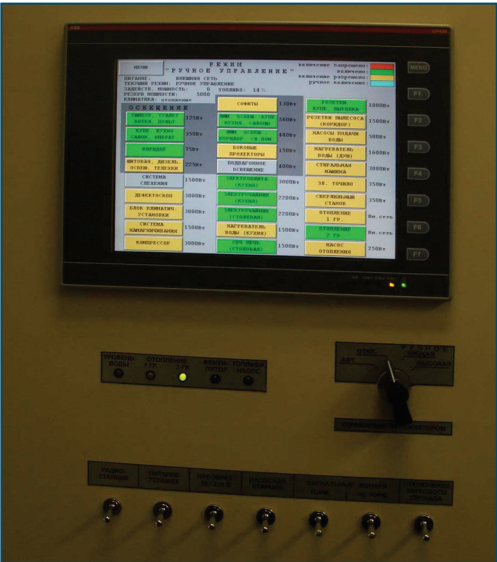


Рис.5 – Вид сенсорного дисплея электрошита

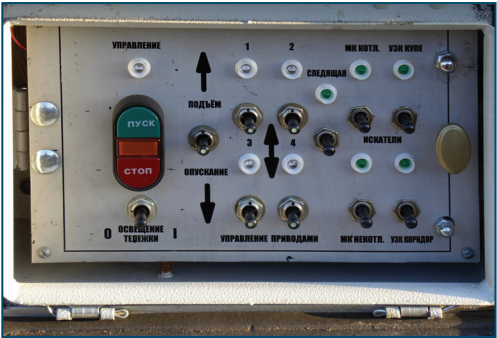


Рис.6 – Панель управления электроприводом

4.2. На вагонах-дефектоскопах с 2007 года устанавливается система электропривода подъема дефектоскопной тележки. С пульта управления, размещенного возле дефектоскопной тележки, может осуществляться управление электроприводами четырех лебедок (рис. 6). Возможен как синхронный спуск (подъем), так и управление каждым двигателем в отдельности. Сохраняется возможность использования ручного привода при отсутствии электроэнергии или неисправности электропривода. Система оснащена концевыми выключателями и защитой от перегрузки. Кроме того, при отладке системы пульт обеспечивает возможность управления пневмоцилиндрами искательной и следящей систем.

4.3. Новый вагон-дефектоскоп оснащен однофазной дизель-генераторной установкой и системой отопления на горелке дизельного топлива. Использование однофазного генератора обеспечивает максимальное использование полезной мощности генератора. Установлен автоматический топливный насос, обеспечивающий поддержание постоянного уровня топлива в расходном баке.

4.4. Система подогрева технологической воды (контактная жидкость) обеспечивает как предварительный подогрев (на стоянке), так и подогрев непосредственно во время работы. В качестве подогревателя используется пластинчатый теплообменник, в первичном контуре которого циркулирует теплоноситель из системы отопления вагона, а во вторичном контуре протекает технологическая вода. Теплообменник обеспечивает нагрев

воды во вторичном контуре до температуры $T_{вт}=T_{пер} - 20^{\circ}\text{C}$ при расходе до 7 л/мин.

При нагреве на стоянке вода снизу из бака подается насосом во вторичный контур теплообменника, а затем нагретая возвращается в бак в верхнюю часть. Вода в баках объемом 4 м³ постепенно прогревается. Для контроля температуры и количества воды баки оборудованы измерителями уровня и температуры. При нагреве во время работы вода снизу из бака подается насосом во вторичный контур теплообменника, а затем нагретая через регулятор расхода к искательным системам. Для контроля температуры подаваемой воды и расхода установлены соответствующие приборы по каждой рельсовой нити отдельно (рис.7).



Рис.7 – Пульт индикации системы подогрева и подачи воды

4.5. Рабочая пневмосистема вагона-дефектоскопа, за исключением исполнительных цилиндров, размещена в отапливаемых помещениях, что исключает замерзание конденсата в воздухопроводах. Использование современной элементной базы резко сократило габариты и позволило разместить основную часть пневматического оборудования в щите управления вагона-дефектоскопа.

5. Улучшение бытовых условий:

5.1. В новом вагоне-дефектоскопе предусмотрен напорный водопровод, что обеспечивает стабильное давление в системе и позволяет использовать стандартную бытовую технику.

5.2. Вагон оборудован накопительными нагревателями для кухни и душа, стиральной машиной-автоматом.

5.3. Мебель для оборудования купе, кухни и столовой выполнена по дизайн-проекту и гармонирует с внутренней отделкой вагона-дефектоскопа (рис.8).

Направления дальнейшего развития:

1. Совершенствование конструкции бесконтактных следящих систем.
2. Совершенствование искательных систем в части повышения гибкости, износостойкости, снижения инерционности. Улучшение гидродина-

мики подачи контактирующей жидкости. Внедрение подогрева в зимних условиях.

3. Повышение рабочих скоростей контроля рельсов до 60-80 км/час.
4. Совершенствование телевизионного канала контроля в части повышения разрешающей способности и качества изображения.
5. Повышение ремонтпригодности и технологичности обслуживания дефектоскопной тележки.



Рис.8 – Общий вид салона

ОРГАНИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АВИКОН-03М



С.П. МАХОВИКОВ
Заместитель директора
НТЦ РМСК НТК СНК

Рассмотрены особенности организации архитектуры комплекса АВИКОН-03М. Описаны преимущества сетевой архитектуры.

Длительное время, начиная со времени разработки первого комплекса АВИКОН-03М, архитектура комплекса оставалась неизменной. При смене поколения дефектоскопической стойки в 2006 году на современной конструктивной и элементной базе, изменении протоколов взаимодействия компьютеров со стойкой на 10-ти мегабитные последовательные каналы, ядром системы оставались специализированные вычислительные модули (ВМ) сбора информации на устаревшей шине ISA. Поддержка шины ISA оставалась только в дорогих промышленных компьютерах. Данная архитектура позволяла поддерживать регистрацию 16 ультразвуковых каналов и 2 магнитных.

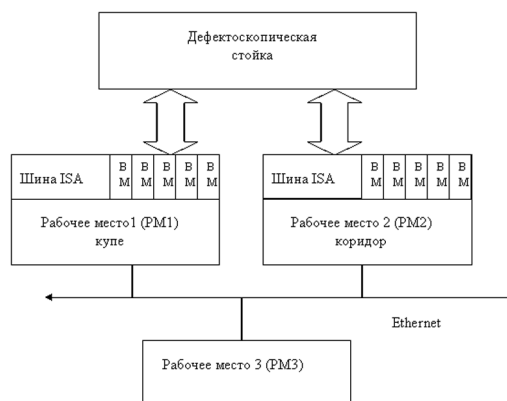


Рис.1 Типовая архитектура комплекса АВИКОН-03М

В данной топологии информационные потоки из дефектоскопической стойки поступали на два разных компьютера (PM1 и PM2) – по купейной и коридорной сторонам соответственно). Недостатки аппаратной архитектуры комплекса приходилось компенсировать за счет построения программного обеспечения. Для соединения двух потоков данных, поступающих с двух компьютеров, был разработан специальный сервис, синхронизировавший данные по путейской координате.

Естественно, наличие очень большого количества разъемов и модулей для такой коммутации снижало надежность, требовало ресурсов на производство, сборку и обслуживание. Увеличение количества каналов было ограничено нагрузочной и пропускной способностью шины ISA. Тем не менее, для венгерского вагона удалось расширить количество ультразвуковых каналов с 16 до 20.

Для перехода к другой архитектуре в комплекс, при разработке дефектоскопической стойки, была заложена возможность установки в крейт дополнительного сетевого вычислительного модуля. Кроме этого, для увеличения количества каналов, комплекс позволяет выполнить каскадирование, то есть подключение дополнительной стойки. Новая архитектура позволила упростить информационные потоки в вычислительном комплексе за счет ведения регистрации обеих рельсовых нитей на одном компьютере. Такой модуль обеспечивает прием данных от 24-х ультразвуковых дефектоскопических модулей по 10-ти мегабитным последовательным каналам, проложенным в кросс-плате внутри стойки. Таким образом, СВМ принимает поток данных порядка 240 мегабит, выполняет предобработку, упаковку и выдачу по 100-мегабитному интерфейсу Ethernet.

Сетевой вычислительный модуль (СВМ) осуществляет выполнение следующих функций:

- Прием информации от 26 дефектоскопических модулей (2*12 ультразвуковых каналов и 2 магнитных канала);
- Прием импульсов от датчика пути;
- Расчет системной и путевой координат;
- Управление выносными пультами, обработка кнопок;
- Предобработку, сжатие и упаковку данных в кадр;
- Привязку кадров к системной и путевой координатам;
- Передачу данных по сетевому интерфейсу Ethernet.

Модернизация комплекса позволила расширить количество каналов с 16 до 24 и внедрить новую 12-тиканальную схему прозвучивания рельса.

Преимущества сетевой архитектуры:

Внедрение сетевой архитектуры позволило улучшить следующие характеристики комплекса:

- Наращиваемость.** Использование старых интерфейсов для ввода потока данных из стойки в компьютер не давало возможности увеличения количества каналов из-за ограничения пропускной способности устаревшей шины ISA, примененной в специализированных вычислительных модулях.
- Мобильность.** Внедрение сетевой архитектуры позволяет устанавливать систему АВИКОН-03М на подвижных единицах с ограниченным пространством типа автомотриссы, автомобили и т.д., так как минимальная

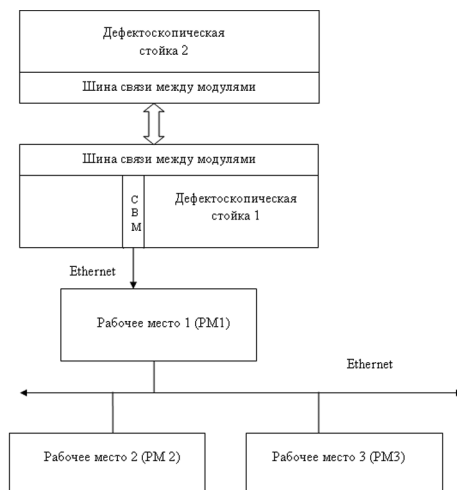


Рис.2 Сетевая архитектура комплекса АВИКОН-03М

конфигурация комплекса – дефектоскопическая стойка плюс один компьютер, например ноутбук. Кроме того сетевая архитектура обеспечивает возможность разнесения аппаратуры и вычислительного комплекса на значительные расстояния.

- с. **Технологичность.** Исчезает большое количество сложных кабелей и разъемов. Подключение дефектоскопической стойки к компьютеру заключается в подсоединении патч-корда, что значительно упрощает сборку и обслуживание комплекса. В старой архитектуре этот процесс состоял из коммутации очень большого количества разъемов.
- d. **Надежность.** Значительно повышается надежность и ремонтпригодность системы за счет сокращения элементов системы.
- e. **Стоимость.** Уменьшились расходы на дорогие элементы системы: 1 плата вместо 11 ти плат специализированных вычислительных модулей, дорогие промышленные компьютеры, уменьшилось количество сложных в производстве кабелей, новая архитектура позволяет сократить количество компьютеров.

СИСТЕМА СИНХРОННОЙ ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВАГОНА-ДЕФЕКТΟΣКОПА С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ



Д.В. Алексеев
Начальник отдела
программных
разработок НТЦ
РМСК НТК СНК

Рассмотрены основные характеристики системы синхронной видеорегистрации. Описаны различные сценарии использования на вагоне-дефектоскопе с расширенными функциональными возможностями. Определены перспективы развития.

В 2011 году исполняется 5 лет с момента первой установки системы синхронной видеорегистрации на вагон-дефектоскоп, и в данный момент все вагонные дефектоскопные комплексы производства АО "Радио-авионика" оборудованы подобными системами. Наша система видеорегистрации сразу получила положительные отклики экипажей вагонов. В чем же причина подобной оценки, несмотря на то, что просмотр видео увеличивает нагрузку на расшифровщика? Причина состоит в улучшении качества и достоверности расшифровки дефектограмм. Возникает вопрос, почему не использовать готовый видеорегистратор, благо подобных систем выпускается немыслимое количество. Ответ однозначен - это точная синхронизация по координате данных ультразвуковых и магнитных каналов с видеоизображениями рельса. Эта особенность и является ключевой для нашей системы видеорегистрации и именно она заставляет расшифровщика наряду с данными ультразвуковых и магнитных каналов использовать и видеоизображения того же места на рельсе.

Итак, подробнее о системе синхронной видеорегистрации. Будем рассматривать её на примере последней версии, установленной на вагоне-дефектоскопе с расширенными функциональными характеристиками (РФХ).

Система синхронной видеорегистрации предназначена для регистрации цветного изображения рельса с привязкой к путевой координате. Система обеспечивает захват видеоданных, привязку к координате, упаковку в эффективный формат, выдачу данных потребителям, хранение и управление зарегистрированными данными с возможностью автоматического удаления. В стандартной комплектации система состоит из двух каналов регистрации синхронного видео и способна обеспечить регистрацию и хранение до 3000 км видеоданных (поток данных: 150 ГБ/1000 км/1 канал). В комплектации РФХ система содержит 12 каналов видео и способна обе-

спечить регистрацию и хранение до 2000 км видеоданных. Поток данных (в среднем по 12-ти каналам) в этом случае также составляет 150 ГБ на 1000 км на 1 канал.

Система обеспечивает уникальную возможность широковещательного интранет-телевещания для просмотра регистрируемой видеоинформации в реальном времени. Широко распространенным аналогом являются системы IP-телевидения. Но мы ограничиваем наше телевидение пределами сети вагона. На рис.1. представлено 12 каналов подобного вещания. Отметим, что наше программное обеспечение активно использует сетевые технологии, и как следствие все компьютерные рабочие места предоставляют пользователю идентичные возможности. Например, упомянутый выше 12-ти канальный сетевой телевизионный ресивер доступен с любого рабочего места.



Рис. 1. Программа просмотра и настройки регистрируемой видеоинформации.

Изначально система построена по модульному принципу (в первую очередь с программной точки зрения), что позволяет наращивать, в разумных пределах, количество регистрируемых каналов. Это было успешно реализовано при разработке 12-ти канальной системы для вагона с РФХ.

Опишем кратко назначение и расположение видеокамер комплектации РФХ. Во-первых, это три видеокамеры для каждой рельсовой нити, обеспечивающие три ракурса одного сечения рельса – изнутри рельса под углом 60° к нормали, снаружи рельса под углом 30° к нормали и сверху по нормали к рель-

су. Особенностью этих наборов из трех видеокамер является их аппаратная синхронизация друг с другом, которая обеспечивает расположение одного и того же объекта на разных кадрах в одном и том же месте изображения.

Во-вторых, это две дистанционно управляемые видеокамеры бокового обзора, позволяющие изменять углы наклона и поворота, а также увеличение (рис.2, кадр “12_KOP”).

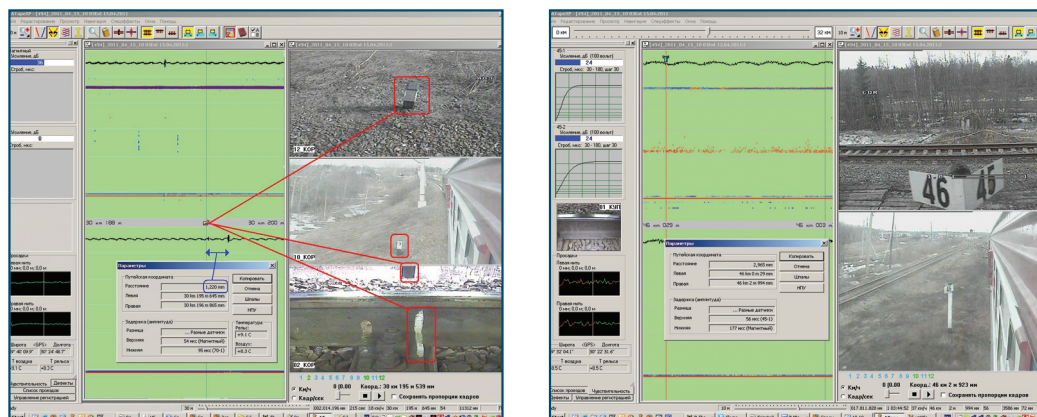


Рис.2. Привязка к единой координатной сетке пикетных столбов, маячных меток и уточнение координаты километрового столба.

Наличие подобных возможностей в совокупности с наличием обратной связи в управлении этими параметрами позволяет направлять видеокамеру под заданными углами и с заданным увеличением, это открывает возможность захвата и сопровождения объекта. Управление параметрами этих камер доступно с любого рабочего места. В-третьих, две камеры, расположенные на торцах вагона, для регистрации изображения шпальной решетки и две обзорные камеры (см. рис.2, кадр “10_KOP”).

Вернемся к вопросу о точности синхронизации видеоизображений с данными ультразвуковых и магнитных каналов. Качественно точность синхронизации определяется гарантией нахождения видеоизображения объекта, найденного на дефектограмме. Подводя курсор мыши к стыку на дефектограмме, мы видим видеокادر с изображением искомого стыка. Подобная оценка имеет право на существование, но не позволяет получать статистические наборы данных достаточного объема. Получение же количественных данных о точности синхронизации представляет отдельную задачу. И, как часто бывает, процесс определения погрешности измерения по сложности сравним с проведением самого измерения. Для решения этой задачи создан специальный стенд. Числовое значение координат дефектоскопических данных передается на устройство, отображающее это значение в бинарном коде. Отображенное значение регистрируется видеокамерой, синхронизирован-

ной с этим устройством. Далее видеоизображение подвергается процедуре распознавания, и координата, полученная в результате распознавания, сравнивается с координатой, приписанной видеокадру. Разность этих значений и есть погрешность синхронизации. На рис. 3. показана одна из полученных гистограмм погрешности синхронизации. Для оценки погрешности выберем доверительный интервал 0.9995, т.е. 99.95 % измерений не превышает оценку. Тогда оценка погрешности для рассматриваемой гистограммы равна 800 мкс, что на штатной 45 км/ч скорости вагона дает оценку в 1 см. Следует заметить, что критерий 0.9995 достаточно жесткий, если вспомнить, что обычная оценка погрешности 3σ соответствует доверительному интервалу 0.997.

Несколько слов о системе подсветки рельса. В настоящее время используется импульсная светодиодная подсветка, что позволяет резко увеличить освещен-

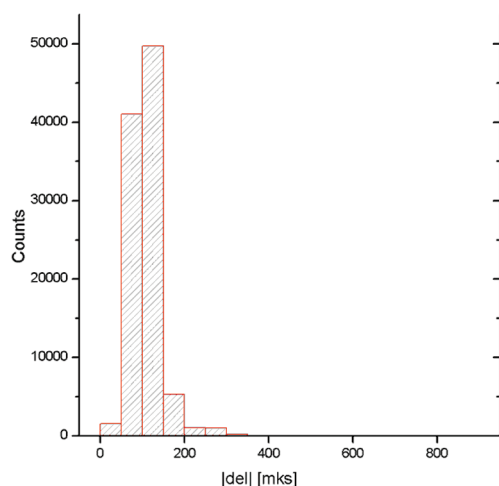


Рис.3. К оценке точности синхронизации видеоданных: ось Y – число проанализированных кадров; ось X – модуль погрешности синхронизации (обработано 200000 кадров)

ность рельса и снизить энергопотребление. Для подсветки сечения рельса используется 6 фар, для каждой из которых возможна регулировка яркости с любого рабочего места. Уровень освещенности, создаваемой каждой светодиодной фарой на поверхности рельса, превышает освещенность, создаваемой ранее используемой галогенной фарой мощностью 200 Вт. Т.о., уровень освещенности, создаваемой 6-тью светодиодными фарами, эквивалентен как минимум подсветке галогенными лампами мощностью 1200 Вт. Потребляет такая система подсветки в 50 раз меньше, т.е. 40 Вт. А достигается это включением подсветки только на короткое время открытия затвора видеокамеры. Наличие столь эффективного источника освеще-

щения позволяет регистрировать видеоданные в темное время суток и ночью. Важность достаточной освещенности можно сравнить с достаточным объемом памяти компьютера, которой всегда не хватает. Какой результат может дать хорошая подсветка, показывает рис. 4. Демонстрацию этих кадров наваяло изучение демонстрационных материалов фирмы Eurailscout (factsheet-rail_RU.pdf рис. 21-24), где использование гораздо более дорогого оборудования нивелируется недостаточной подсветкой.

Рассмотрим наиболее значимые, на наш взгляд, сценарии использования системы синхронной видеорегистрации.

1. Подтверждение предположения о наличии поверхностного дефекта, сделанного на основании данных ультразвуковых и магнитных каналов (рис.5).
2. Подтверждение нахождения дефекта под наблюдением, о чем свидетельствует наличие маркировки сечения, сделанное операторами съемных средств (рис.6).



Рис. 4. Использование светодиодной подсветки для улучшения качества изображения.

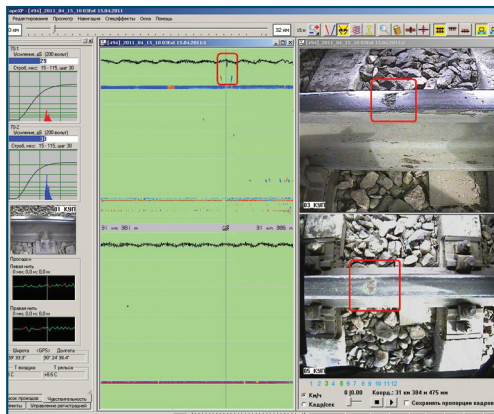


Рис.5. Подтверждение предположения о наличии дефекта.

3. Определение причин ухудшения акустического контакта (рис.7).
4. Выявление причин появления дефектоподобных пачек сигналов. Например, одиночное отверстие в шейке (рис.8).
5. Улучшение навигации при натурном осмотре.

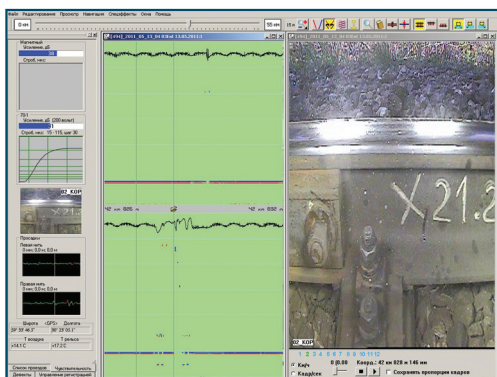


Рис.6. Подтверждение нахождения дефекта под наблюдением оператора ПЧ.

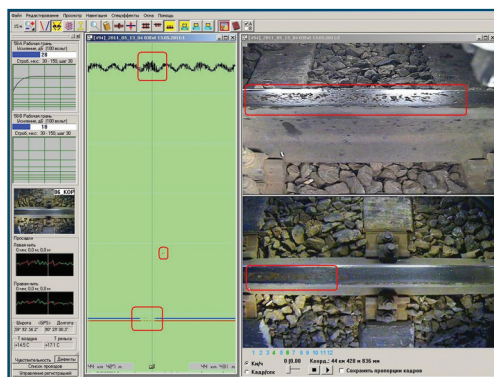


Рис.7. Ухудшение акустического контакта из-за неровностей на поверхности катания

- Определение нумерации сварных стыков (рис.9).
 - Привязка к единой координатной сетке пикетных столбов, маячных меток, стыков (рис.2).
6. Измерение стыковых зазоров и смещений маячных меток с учетом данных о температуре рельса и маркировки температуры закрепления (рис.10).

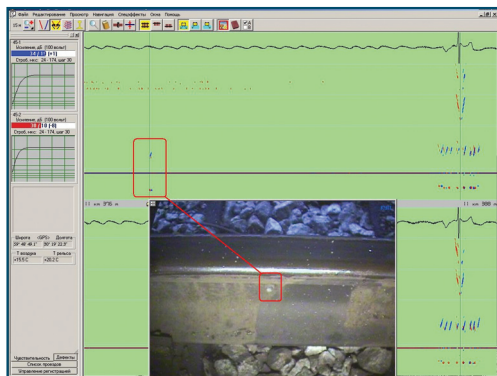


Рис.8. При отсутствии видеоизображения пачки сигналов в у.з. каналах могли быть приняты за дефект кода 55

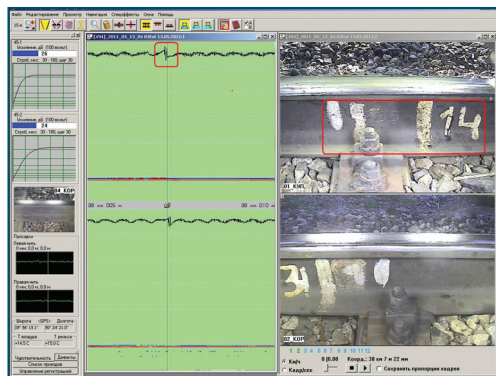


Рис.9. Определение нумерации сварных стыков.

7. Уточнение путевой координаты км-столбов для улучшения привязки дефекта при натурном осмотре (см. рис.2).

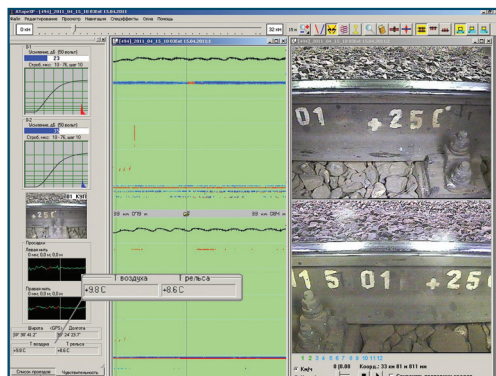
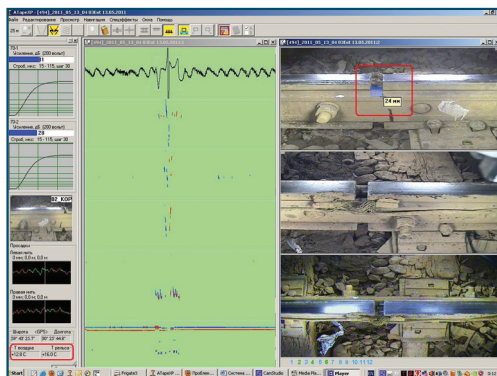


Рис.10. Измерение стыкового зазора и учёт температуры закрепления плиты

Безусловно, список не является исчерпывающим, и в заключение хочется выразить надежду, что представленный обзор системы синхронной видеорегистрации даст новый импульс для её использования и развития. А в качестве ближайшей перспективы отметим следующие две задачи:

1. Создание системы переноса видеоданных с вагона-дефектоскопа с РФХ в центр обработки данных. Здесь два основных момента. Первый —

большой объем видеоданных (1000 км видеоданных занимают объем около 2 Тбайт). Поэтому данные предполагается копировать на съемный накопитель в процессе регистрации проезда. Второй — процесс подобного параллельного копирования должен быть прозрачен для персонала вагона и ограничиваться только подключением в начале смены съемного накопителя и отключением его в конце смены.

2. Использование видеооборудования высокой четкости с прогрессивной разверткой, которое позволит получать видеоизображения с разрешением по вертикали до 2048 пикселей. Использование подобного оборудования и применение специального протокола синхронизации позволит повысить точность синхронизации видеоизображений с данными ультразвуковых и магнитных каналов до точности представления координаты, т.е. до 1 мм в текущей реализации.

МАЛОГАБАРИТНАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ



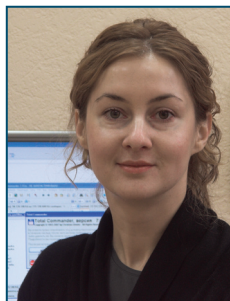
А.М. БОРОНАХИН
к.т.н., СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



Е.Д. БОХМАН
Генеральный директор
ООО «ИНЕРТЕХ»



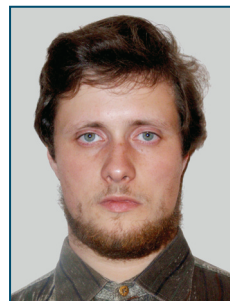
Л.Н. ПОДГОРНАЯ
к.т.н.,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



Н.С. ФИЛИПЕНЯ
к.т.н.,
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



Р.В. ШАЛЫМОВ
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»



Д.Ю. ЛАРИОНОВ
Студент
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

В статье приводятся результаты разработки системы диагностики железнодорожного полотна, ключевым элементом которой является комплект инерциальных измерительных модулей на микромеханических гироскопах и акселерометрах, устанавливаемых непосредственно на буксовые узлы (крышки подшипников) колесных пар. Благодаря такому построению системы появилась возможность проводить научные исследования влияния динамического взаимодействия железнодорожного состава и пути на результаты измерений геометрических неровностей, а также реализовать измерение таких параметров как дефекты поверхности катания рельсовых нитей.

Основной задачей, возложенной на путевые подразделения, является контроль технического состояния и своевременный ремонт рельсового пути. Контроль параметров пути – это организационно-техническая система надзора за соблюдением установленных нормативов для железнодорожного пути, выполнением плановых заданий и результатами проведенных работ путевыми подразделениями.

В настоящее время на железных дорогах для этих целей используются различные технические средства, такие как вагоны-дефектоскопы для определения состояния рельсов, а также путеизмерительные вагоны и ручные средства путеизмерения (тележки и шаблоны) для оценки параметров геометрии рельсового пути.

В результате эксплуатации дефектоскопов была выявлена зависимость развития дефектов в рельсах от геометрических неровностей, в основном, от коротких просадок и перекосов. Определение данной зависимости позволит с большей достоверностью делать прогноз по состоянию пути. При этом диагностирование пути по геометрии и дефектам должно выполняться одновременно, так как одним из факторов, определяющих точность решения этих задач, является степень динамического воздействия вагона на путь. Путем решения этой задачи может стать внедрение в состав вагона-дефектоскопа подсистемы измерения неровностей рельсового пути, перекосов, кривизны и уровня. В качестве такой системы предлагается использовать малогабаритную инерциальную систему диагностики рельсового пути (МИСД РП).

МИСД РП состоит из:

- бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) для измерения углового и линейного движения кузова вагона, закрепленной на хребтовой балке под кузовом вагона (см. рисунок 1);
- четырех датчиков микромеханических (ДММ, см. рисунок 1), устанавливаемых на буксах колесных пар вагона для измерения их угловых и линейных движений (собственная разработка кафедры ЛИНС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»);
- датчиков перемещений (ДП, см. рисунок 1), устанавливаемых между кузовом вагона и буксой и необходимых для контроля вертикальных перемещений;
- датчика пройденного пути – одометра, позволяющего привязывать результаты измерений к расстоянию, пройденному по рельсовому пути;
- приемной аппаратуры спутниковой навигационной системы (ПА СНС), для определения географических координат местоположения вагона;

- специализированной 16-канальной платы обеспечения синхронизации по времени моментов опросов подсистем (см. рисунок 2);
- бортового компьютера, где реализуется алгоритм МИСД РП.

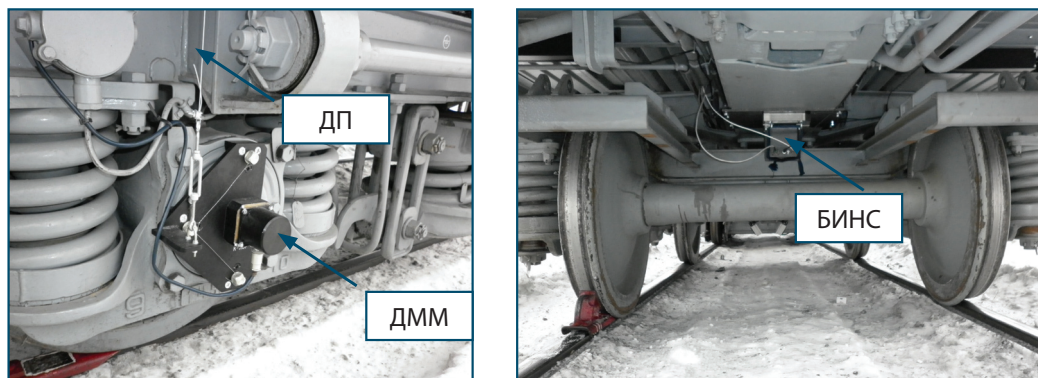


Рисунок 1 – Расположение измерительной аппаратуры



Рисунок 2 – Плата синхронизации моментов опросов подсистем

Определяемые системой диагностики в результате прохождения участка рельсового пути параметры можно разделить на две группы: геометрические параметры рельсовой колеи и дефекты поверхности катания рельсов. Первые определяются с использованием БИНС, в то время как для определения дефектов необходимо наличие показаний датчиков микромеханических, находящихся в непосредственной близости с рельсом.

Моменты опросов всех датчиков системы синхронизированы по времени (частота опроса 4 кГц), а затем привязаны к показаниям одометра с шагом в 5 мм.

К геометрическим параметрам рельсовой колеи, определяемым с использованием малогабаритной инерциальной системы диагностики рельсового пути, относятся: кривизна пути в плане, уровень, продольный уклон, короткие перекосы (на базе тележки) и длинные неровности в профиле и плане.

Для получения указанных параметров используются показания БИНС, датчиков перемещений и одометра.

К так называемым коротким просадкам в вертикальной плоскости относятся короткие неровности поверхности катания рельсов в различных диапазонах длин волн, волнообразные дефекты (рисунок 3), смятие головки рельса (рисунок 4).

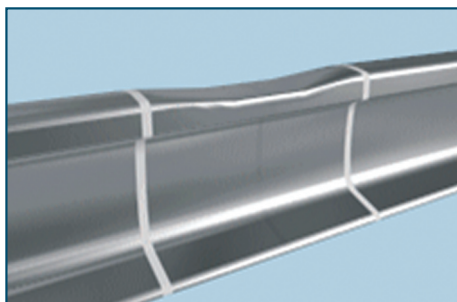


Рисунок 3 – Смятие головки рельса

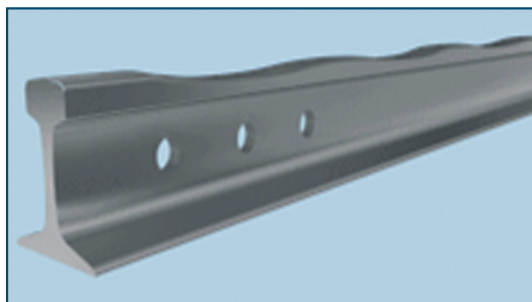


Рисунок 4 – Волнообразная деформация головки рельса

Для их измерения был предложен инерциальный метод диагностики вертикальных неровностей рельсового пути. В сигнал первого по ходу движения вертикального микромеханического акселерометра вводится задержка, соответствующая времени, требуемому для прохождения дистанции, равной базе тележки (см. рисунок 5). То есть сигналы приводятся к единой путевой координате. Затем производится нормирование показаний акселерометров по скорости движения вагона. После чего, при наличии совпадения в показаниях следом идущих акселерометров, вырезается участок, на котором оно наблюдается, далее проводится анализ вертикального ускорения на данном участке пути и расчёт длины и амплитуды вертикальной неровности.

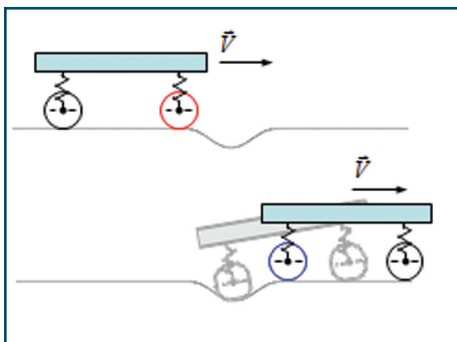


Рисунок 5 – Прохождение неровности тележкой вагона

Далее приведены результаты измерения параметров рельсового пути, полученные в ходе экспериментальных проездов вагона-дефектоскопа фирмы ОАО «Радиоавионика», оснащенного МИСД РП, от Санкт-Петербурга до Вырицы и обратно.

График изменения курса при прохождении этого участка рельсового пути приведен на рисунке 6.

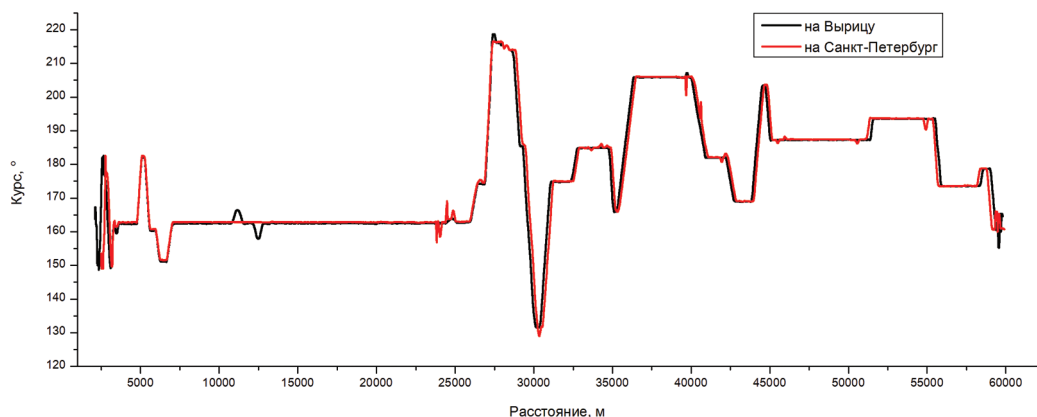


Рисунок 6 – Изменение курса при прохождении участка рельсового пути Санкт-Петербург – Вырица

Генеральная линия пути при прохождении туда и обратно совпадает, что говорит о повторяемости результатов измерения.

В соответствии с ЦПТ-55/22, оценке подлежит не мгновенное значение кривизны пути в плане, а плавно меняющаяся кривизна (усредненная на интервале). На рисунке 7 приведены графики текущего значения кривизны и её усредненного значения.

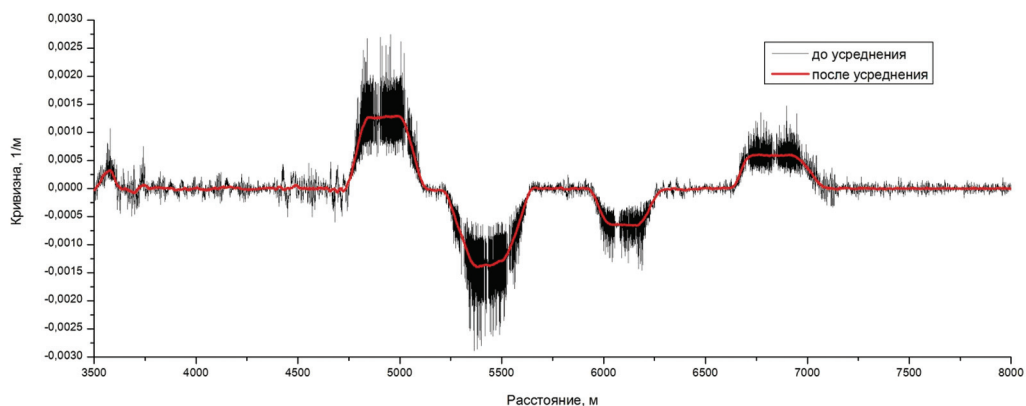


Рисунок 7 – Кривизна пути в плане до и после усреднения

Ниже приведен полученный по показаниям МИСД РП график кривизны пути в плане (рисунок 8) и результат измерения того же участка рельсового пути вагоном ЦНИИ-4 (рисунок 9). При этом значения радиуса кривой, её длины и изменения курса на ней совпадают с результатами измерения кривизны вагоном-путеизмерителем (см. таблицу 1, где приведены результаты измерения кривизны МИСД РП и ЦНИИ-4).

Таблица 1

Кривизна, 1/м (радиус кривизны, м)	
МИСД РП	ЦНИИ 4
0,00093 (1070)	0,00093 (1079)
0,0011 (917)	0,0011 (938)
0,0002 (5002)	0,0002 (5012)
0,00016 (6205)	0,00016 (6170)
0,00021 (4815)	0,00021 (4822)
0,0001 (10071)	0,0001 (10009)

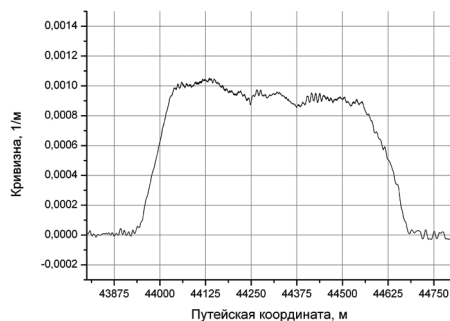


Рисунок 8 – График кривизны, соответствующий кривой радиусом $R=1070$ м, при длине кривой $L=762$ м и изменении курса $A=34,5^\circ$

В соответствии с ЦПТ-55/22, как и в случае с кривизной, оценке подлежит не мгновенное значение возвышения одной рельсовой нити над другой, а плавно меняющийся уровень (усредненный на интервале). На рисунке 10 приведены графики текущего значения уровня и его усредненного значения.

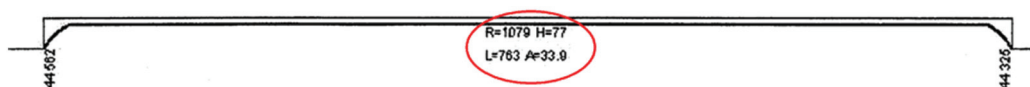


Рисунок 9 – Результат измерения кривой вагоном ЦНИИ-4

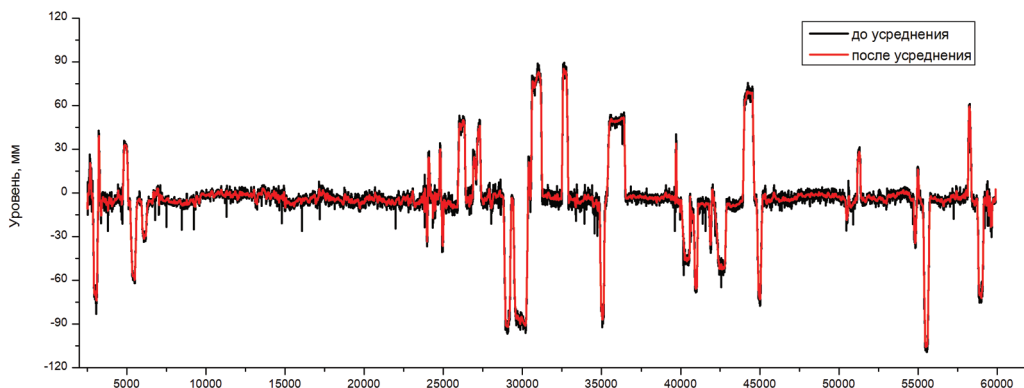


Рисунок 10 – Возвышение одной рельсовой нити над другой на участке рельсового пути Санкт-Петербург – Вырица

В результате расчета текущего среднего значения уровня осуществляется фильтрация сигналов БИНС и ДП от местных неровностей.

Ниже приведен полученный по показаниям МИСД РП график уровня (рисунок 11) и результат измерения того же участка рельсового пути ваго-

ном КВЛ-П2.1 (рисунок 11). При этом значения возвышения одной рельсовой нити над другой совпадают с результатами измерения уровня вагоном-путеизмерителем (см. таблицу 2, где приведены результаты измерения уровня МИСД РП и КВЛ-П2.1).

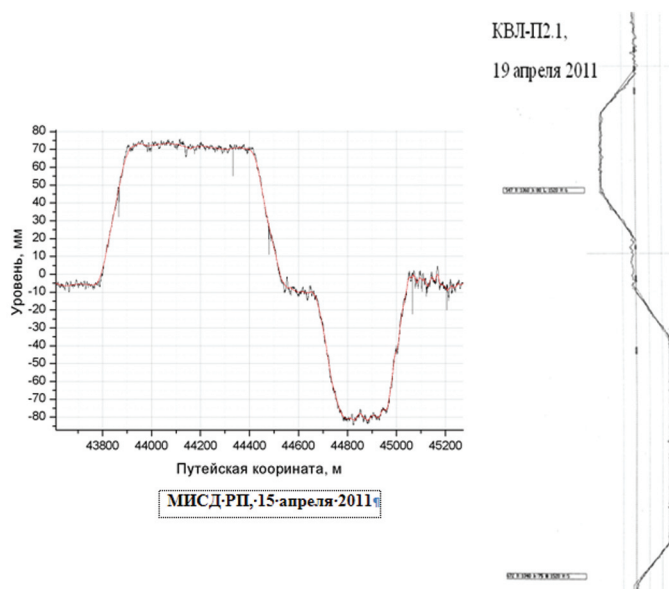


Рисунок 11 – График изменения уровня, соответствующий кривым с возвышениями одной рельсовой нити над другой $H_1=73\text{ мм}$ и $H_2=-80\text{ мм}$ по показаниям МИСМ РП и КВЛ-П2.1

Для упрощения работы оператора система использует специальный визуализатор, позволяющий как в режиме реального времени, так и в режиме постобработки наблюдать результаты работы системы. На рисунке 12 изображено окно визуализатора, открытое на вкладке «Кривизна» (верхний график – изменение курса вагона с момента старта, нижний график – кривизна пути в плане).

В результате экспериментальных проездов также осуществлялась диагностика состояния поверхности катания рельсов. В ходе проезда (либо в режиме постобработки) система определяет ударные воздействия на буксы колесных пар тележки вагона, отображающиеся максимумами на верхнем графике рисунка 13. Алгоритм системы автоматически определяет подозрения на неровность по величине этих максимумов и форме сигнала ускорения (см. нижний график на рисунке 13). В случае наличия такового на среднем графике (см. рисунок 13) отобразится условный знак в виде треугольника, высота которого равна глубине неровности, а основание – её длине.

Результаты, приведенные на рисунке 13, были получены в ходе обработки программой проезда системы в составе вагона-дефектоскопа от 26-го июня 2011 г.

Таблица 2

Уровень, мм	
МИСМ	КВЛ
56	60
85	85
83	85
84	90
65	65
50	50
55	55
37	40
73	75
80	80

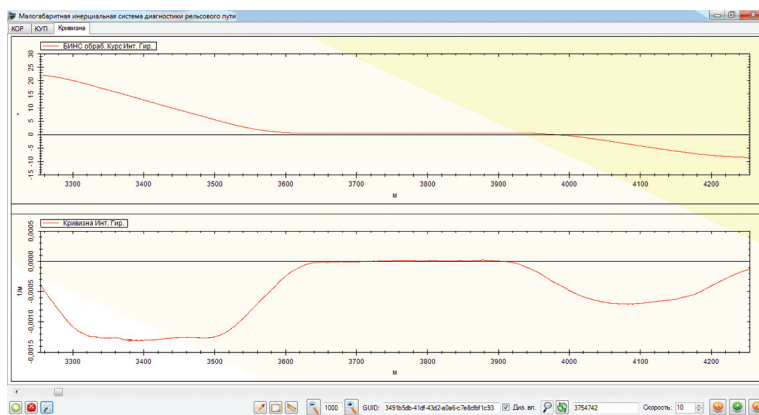


Рисунок 12 – Визуализатор, открытый на вкладке «Кривизна»

По тому же участку рельсового пути был осуществлен проезд 4-го июля 2011 года. Неровность, расположенная на рисунке 13 по центру, была обнаружена по результатам каждого из проездов. При этом величина неровности по показаниям системы 1,4 и 1,7 соответственно (при заявленной точности системы в 1мм).

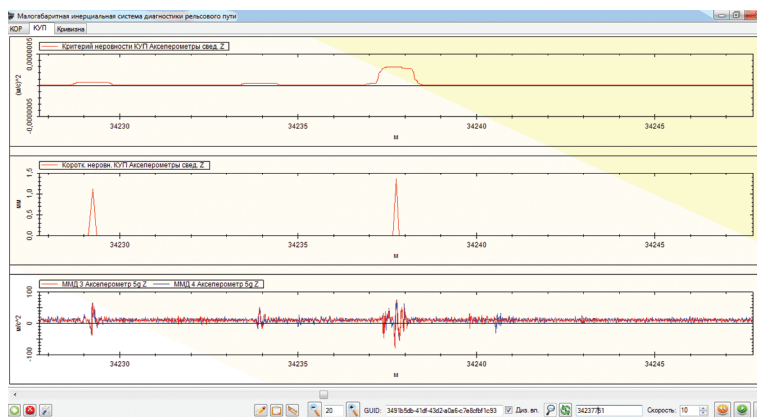


Рисунок 13 – Визуализатор, открытый на вкладке «Кривизна»

На том же участке рельсового пути было осуществлено измерение ручным инструментом (см. рисунок 14). Результат измерения глубины дефекта составил 1,5 мм. Таким образом, погрешность определения глубины седловины сварного стыка находится в пределах заявленной.

Помимо визуального представления параметров выявленных дефектов на графиках, при прохождении участка рельсового пути автоматически формируется ведомость найденных дефектов (см. рисунок 15), где отобра-

жается такая информация о дефекте, как его путевая и системная координаты, скорость прохождения участка рельсового пути, содержащего дефект, глубина и длина неровности, а также рельсовая нить (КУП – купейная или КОР – коридорная) на которой был обнаружен этот дефект.



Рисунок 14 – Ручной инструмент для измерения дефектов

Поиск дефектов

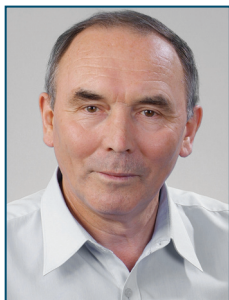
#	Координата (пут.)	Координата (сист.)	Скорость	Глубина	Длина	Нить	Тип	В отчёт
15	3 км 796 м 404 мм	2372729	9,404	1,679	247,5	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
16	3 км 859 м 74 мм	2435399	9,687	1,561	262,5	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
17	4 км 48 м 49 мм	2622254	11,242	1,991	281,3	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
18	2 км 97 м 995 мм	646549	5,580	1,803	236,3	КОР	Авт	<input type="checkbox"/>
19	16 км 543 м 835 м...	15114119	9,189	1,280	221,3	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
20	16 км 596 м 440 м...	15166724	9,057	1,512	213,8	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
21	17 км 864 м 622 м...	16433724	9,070	1,462	243,8	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
22	18 км 204 м 600 м...	16771544	9,228	1,429	236,3	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
23	19 км 23 м 740 мм	17592119	9,405	1,341	281,3	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>
24	19 км 616 м 685 м...	18185064	9,162	1,396	225,0	КУП	Авт	<input type="checkbox"/>

☒ Включить регистрацию Заккрыть

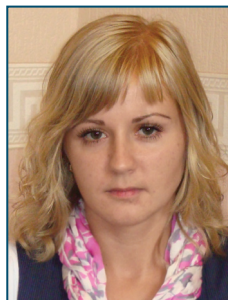
Рисунок 15 – Ведомость найденных дефектов

Внедрение малогабаритной инерциальной системы диагностики рельсового пути на вагон-дефектоскоп позволяет осуществлять измерение целого ряда дополнительных параметров, знание которых позволяет более точно характеризовать состояние того или иного отрезка рельсового пути. При этом как регистрация дефектов, так и определение геометрии рельсовой колеи производится в автоматическом режиме, что значительно облегчает работу оператора.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОГО ПУТИ С ПОМОЩЬЮ ВАГОНА-ДЕФЕКТОСКОПА С АППАРАТУРОЙ АВИКОН-03М



А.А. МАРКОВ
Директор НТК
систем неразрушающего
контроля.



Е.А. КУЗНЕЦОВА
Ведущий инженер
НТЦ РС и П СНК.

Приведено краткое описание модернизированного вагона-дефектоскопа АВИКОН-03М с расширенными функциональными возможностями. Рассмотрены примеры комплексного анализа получаемой вагоном диагностической информации. Выполнена оценка повышения вероятности обнаружения дефектов рельсового пути за счет развития систем диагностики вагона-дефектоскопа.

1. Модернизированный вагон-дефектоскоп АВИКОН-03М

С мая 2011 г. на Октябрьской железной дороге начал эксплуатироваться новый вагон-дефектоскоп АВИКОН-03М с расширенными функциональными возможностями, разработанный ОАО «Радиоавионика» по заказу ОАО «РЖД». Диагностический комплекс вагона дополнен двумя новыми системами (рис.1):

- 12-канальной системой видеорегистрации (6 камер для получения изображения рельсов с нескольких ракурсов и 6 обзорных камер);
- системой измерения отдельных геометрических и динамических параметров рельсового пути с помощью инерциальных измерительных модулей (см. рис. 16).

При этом в дополнение к ранее используемым ультразвуковым и магнитным методам неразрушающего контроля (НК) впервые полноценно реализованы еще два метода контроля рельсового пути:

а



б



Рис. 1. Дополнительное диагностическое оборудование нового вагона-дефектоскопа АВИКОН-03М: а – видеосистема; б – микромеханический инерциальный измерительный датчик на буксе колеса

- визуальный (по три видеокамеры на каждую нитку пути – см. рис. 1а);
- инерциальный метод обнаружения коротких неровностей рельсового пути.

Наиболее сложной задачей, успешно решенной разработчиками данных систем и их программного обеспечения, является корректная жесткая синхронизация всей получаемой вагоном-дефектоскопом диагностической информации по координате рельсового пути. При этом оператор имеет широкие возможности вывода на экран всей или частичной информации для принятия обоснованного решения о состоянии контролируемого сечения.

На рис. 2 приведен пример записи болтового стыка с совместным представлением сигналов магнитодинамического канала (поз.1), 12-ти ультразвуковых каналов (поз. 2) и трех кадров с изображением стыка (поз. 3). 12-ти канальная схема прозвучивания комплекса АВИКОН-03М содержит для контроля головки рельса: по два эхо-канала 70° , четыре канала $58/34^\circ$ (схема «РОМБ»), два зеркальных канала $58/34^\circ$, для контроля шейки и ее продолжений в головку и подошву – два эхо-канала 42° и для контроля всего сечения рельсов – два прямых канала 0° .

Такое полное представление информации позволяет не только выявить наличие дефектов рельсов, но и оценить состояние поверхности катания рельсов, измерить величину стыкового зазора, зафиксировать наличие возможной «ступеньки» в стыке, оценить состояние рельсовых скреплений, шпал, щебенки в межшпальном ящике и др.

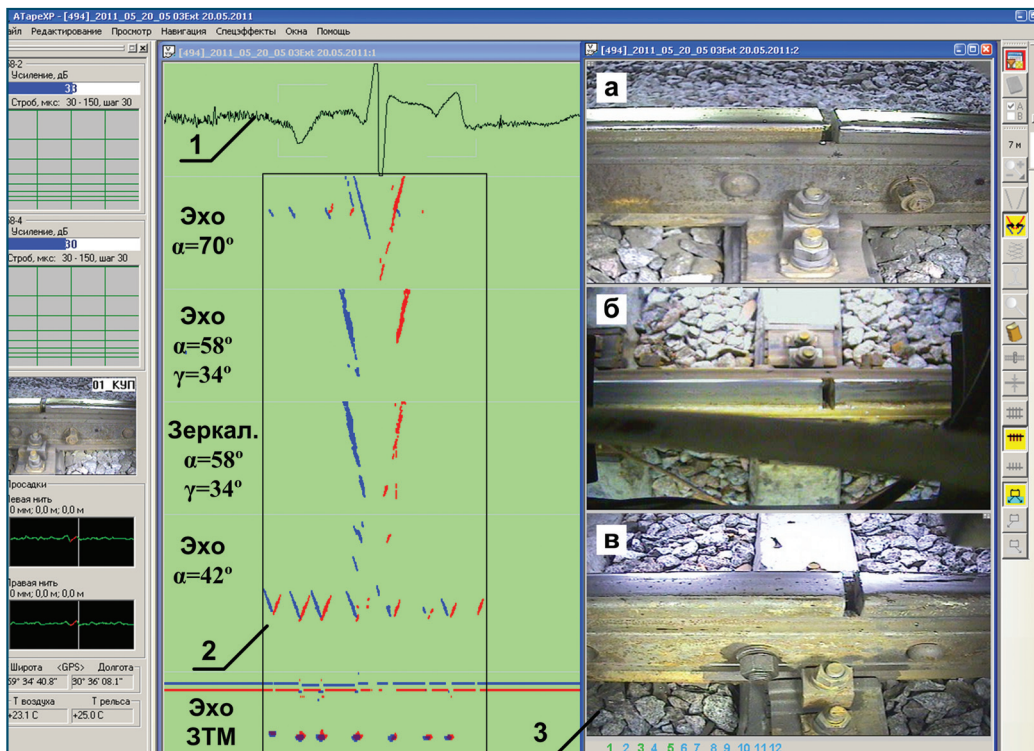


Рис. 2. Совместный анализ сигналов трех методов НК: 1 – магнитного; 2 – ультразвуковых (12 каналов) и 3 – визуального (3 камеры на рельс: с внутренней стороны колеи (а), сверху (б) и с наружной стороны (в))

2. Результаты комплексного анализа видео- и дефектоскопической информации

Ниже приведены некоторые примеры и характерные фрагменты, поясняющие дополнительные возможности по анализу сигналов и идентификации дефектов с помощью сочетания трех методов НК (магнитного, ультразвукового и визуального).

2.1. Дифференциация дефектов на неопасные поверхностные повреждения головки рельсов и недопустимые внутренние дефекты.

Зачастую, при анализе дефектограмм, только лишь по сигналам в магнитном и ультразвуковых каналах практически невозможно сделать однозначный вывод о том, какой дефект имеется на данном участке: допустимый дефект первой группы или опасная внутренняя трещина головки рельса. И в том, и в другом случае в магнитном канале отображаются сигналы, характерные для дефекта головки (рис. 3 поз 1), в наклонных каналах контроля головки рельса присутствуют наклонные пачки (поз. 2), в прямом канале фиксируются эхо-сигналы и наблюдается прерывание линии донных сигналов (поз. 3). При этом только по дефектоскопическим сигналам дефект бу-

дет идентифицирован оператором скорее как опасная внутренняя трещина головки рельса (принятие решения оператором весьма субъективно).

При наличии видеоизображения (рис. 3: поз. 4) расшифровщик может мгновенно распознать, что подозрительные сигналы получены, например, от развитого поверхностного повреждения (расслоения, выкрашивания металла головки или пробуксовки как на рис.3).

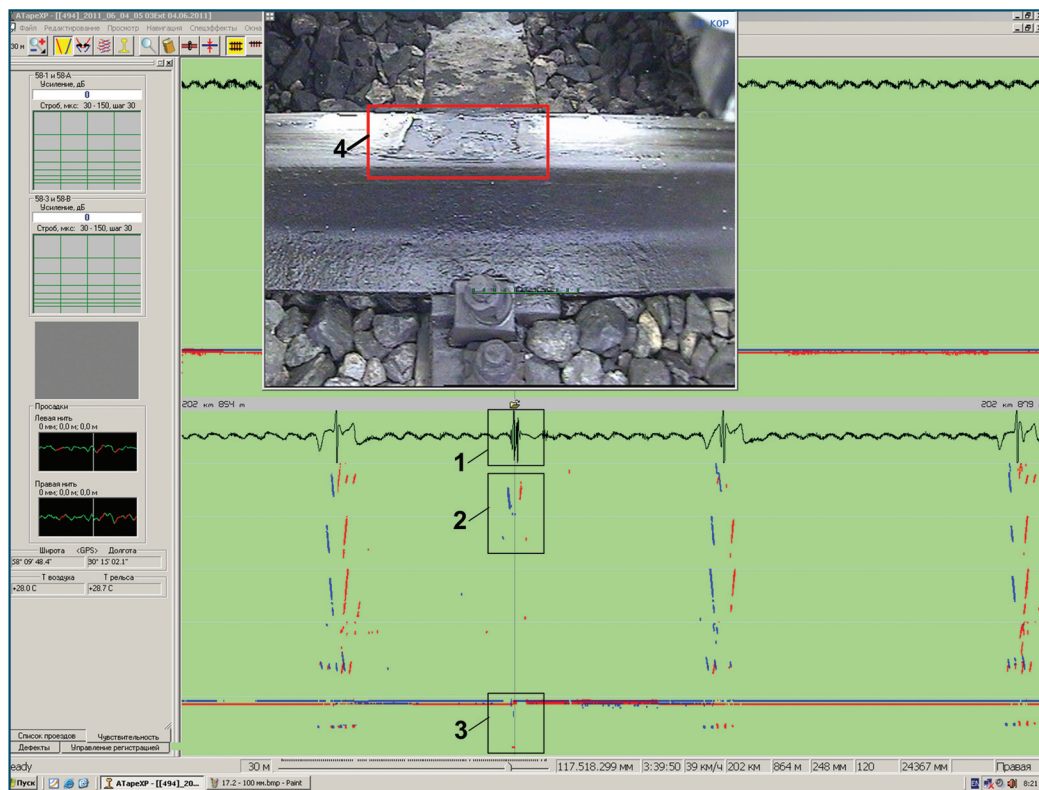


Рис.3. Пример распознавания по видеокадрам поверхностного дефекта
(по дефектоскопическим сигналам идентифицируется как внутренний дефект)

Напротив, наличие сигналов в ультразвуковых и магнитном каналах при отсутствии на фотоизображении внешних повреждений рельсов говорит о большой вероятности присутствия опасного внутреннего дефекта рельса (ОДР).

2.2. Распознавание сигналов от реальных дефектов и дефектоподобных сигналов от конструктивных отражателей рельсов (маркировочных знаков, одиночных или дополнительных отверстий в шейке и др.).

Подобные сигналы увеличивают трудоемкость расшифровки и вызывают необходимость вторичных перепроверок с выходом в путь (для этих це-

лей обычно привлекаются операторы цехов дефектоскопии). При этом значительно удлиняется время выдачи окончательного заключения о качестве проконтролированного участка и возрастает трудовая нагрузка на цеха.

На рис. 4 представлен пример сигналов, аналогичных ОДР кода 55 (трещины в шейке рельса), которые, на самом деле, получены от одиночного отверстия в шейке рельса, что четко видно по фотоизображению.

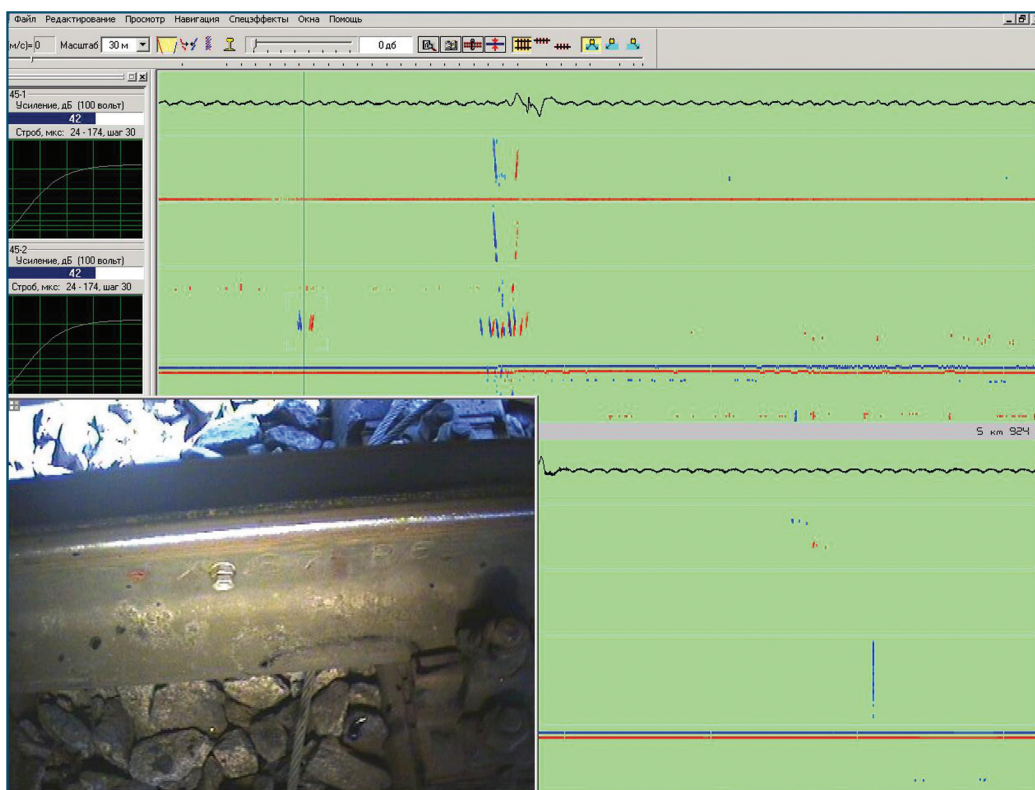


Рис. 4. Опровержение с помощью визуального метода предположения о наличии опасного дефекта шейки (кода 55), сделанного на основании данных ультразвуковых каналов: 1 – наклонные пачки сигналов в эхо-каналах контроля шейки; 2 – фотоизображение рельса с одиночным отверстием в шейке.

2.3. Упрощение анализа сигналов в зоне стрелочных переводов.

В данной зоне анализ сигналов может вызывать затруднения у оператора из-за сложности конструкции стрелочного перевода и наличия множества конструктивных отражателей в его элементах (технологические отверстия в крестовине, сигналы от врезки усовика и т.д.). Кроме того, профили острижков, рамных рельсов (в зоне строжки) и крестовин отличаются от профиля обычных рельсов. Проблема усугубляется тем, что в литературе и нормативных инструкциях практически отсутствуют рекомендации по расшифровке

сигналов в данной зоне. Благодаря видеорегистрации рельсового пути существенно упрощается идентификация сигналов от различных элементов в зоне стрелочного перевода.

2.4. Предотвращение пропусков ОДР и изломов в зоне алюминотермитных сварных стыков рельсов.

В России алюминотермитные сварные стыки по действующей технологии принято устанавливать в накладки. Пропуски происходят из-за того, что совокупность сигналов от болтовых отверстий в рельсах и пачек сигналов от дефекта (рис. 5 а) или излома по всему сечению в зоне сварки могут быть ошибочно распознаны расшифровщиком как обычный болтовой стык. Эта ситуация является крайне опасной в связи с тем, что вместе с рельсом легко ломаются и стыковые накладки (конструкция накладки ослаблена из-за выточки под валик усиления сварного стыка).

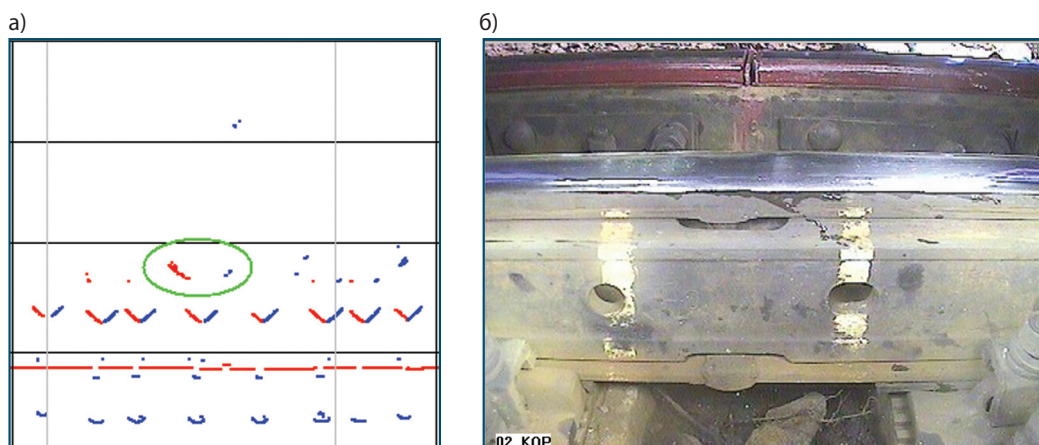


Рис. 5. Алюминотермитный сварной стык: а – сигналы от опасной трещины в подошве рельсов в зоне сварки; б – видеокадр, идентифицирующий наличие сварного стыка.

2.5. «Привязка» дефектограмм к реальному пути.

Отдельная проблема организации неразрушающего контроля рельсов – ошибки при выдаче на натурный осмотр координаты дефектного сечения (привязка сигналов). Ежегодно на сети дорог 20-30% от всех изломов происходит из-за пропусков операторами, в том числе из-за ошибок при поиске отметки в пути и при проведении натурного осмотра.

Отсутствие на дефектограммах мобильных средств отметок пикетных столбов, погрешность датчика путевой координаты (может составлять несколько единиц и десятков метров), ошибки определения номера звена и нитки пути могут привести к пропуску опасного дефекта. Особенно эта проблема актуальна при контроле бесстыкового пути, где отсутствуют такие регулярные типовые отражатели, как болтовые стыки.

Указанные проблемы решаются благодаря наличию видеоинформации. Например, по фотоизображению рельса с внутренней стороны колеи четко видны номера сварных стыков и маркировка на рельсах, по которым расшифровщику удобно осуществить точную привязку дефектного сечения, а оператору – найти правильную координату при натурном осмотре в пути. Дополнительно на вагоне-дефектоскопе установлено шесть обзорных камер, которые обеспечивают четкую запись элементов пути и объектов инфраструктуры. Эти объекты позволяют произвести дополнительную привязку дефектного сечения к местности.

2.6. Дополнительные возможности.

- Выявление по фотоизображению опасных трещин рельсов с выходом на поверхность, требующих принятия немедленных мер по ограничению скорости и замене рельса.
- Выявление дефектов и изломов на неконтролируемых зонах стрелочных переводов.
- Выявление дефектов поверхности катания рельсов (в сочетании с данными магнитного и ультразвуковых каналов, а также буксовых микромеханических датчиков) с возможностью измерения их параметров и наблюдение за динамикой их развития.
- Определение факта контроля и даты последнего осмотра дефектных рельсов, подозрительных сечений и непроконтролированных болтовых стыков, выданных на вторичный осмотр по результатам проезда вагона-дефектоскопа. По маркировке, оставленной на рельсе оператором вторичного контроля, инженер-расшифровщик мобильного средства контролирует работу цехов дефектоскопии по осмотру и наблюдению за выданными вагоном отметками, а также по регулярному осмотру (мониторингу) дефектных рельсов (ДР).
- Выявление (совместно с данными путеизмерений) причин появления на дефектограммах частично или полностью непроконтролированных болтовых стыков из-за наличия просадок, ступенек, смятий и выкрашиваний головки рельса; непроконтролированных сварных стыков из-за седловин; а также непроконтролированных участков из-за сильного бокового или волнообразного износа рельсов.
- Быстрое самообучение и повышение квалификации специалистов по расшифровке, а также минимизация ошибок благодаря регулярному сравнению сигналов на дефектограммах и фотоизображению рельсов с разнообразными отражателями в них.

2.7. Обнаружение неисправностей рельсового пути.

Получение информации от 12 камер видеосистемы вагона-дефектоскопа АВИКОН-03 открывает уникальные возможности по выявлению различных

неисправностей пути и элементов инфраструктуры. Разрешающая способность получаемых изображений позволяет обнаруживать по видеокадрам имеющиеся неисправности (пример – на рис.6). Очевидно, на участках с плохим содержанием пути вероятность появления дефектов рельсов больше, чем на участках с нормативным содержанием. Поэтому и здесь прослеживается косвенная связь повышения достоверности обнаружения дефектов рельсов в связи с внедрением видеорегистрации с высоким разрешением.

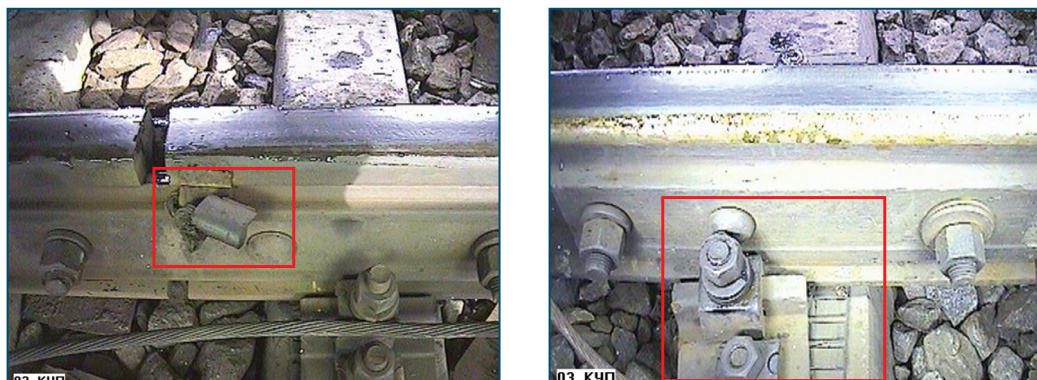


Рис. 6. Примеры выявленных по видеокадрам неисправностей рельсового пути

Таким образом, дополнение дефектоскопического комплекса системой видеоконтроля рельсов, в первую очередь, позволяет повысить эффективность дефектоскопии рельсов: с одной стороны – выявлять дополнительные дефекты, а с другой стороны – минимизировать количество необоснованно выдаваемых на вторичный осмотр отметок и снизить перебраковку рельсов, а значит, существенно уменьшить издержки при сохранении требуемого уровня безопасности.

3. Система измерения геометрических параметров пути

Следующим шагом в построении эффективной системы диагностики рельсового пути является дополнение дефектоскопической информации параметрами геометрии рельсового пути.

Известно, что непосредственное влияние на зарождение и ускоренное развитие внутренних дефектов рельсов оказывают нарушения геометрии рельсового пути и наличие неровностей на поверхности катания рельсов. Из-за указанных нарушений в рельсах возникают дополнительные знакопеременные напряжения – это собственные напряжения рельса вследствие его изгиба на неровности и дополнительные динамические напряжения, возникающие в рельсе при проходе подвижного состава по неровностям.

Основными неисправностями колеи, влияющими на развитие дефектов в рельсах, являются короткие неровности в вертикальной плоскости, то

есть просадки и перекосы пути. Предварительные расчеты показывают, что при наличии просадок растягивающие напряжения в головке и подопшке рельса увеличиваются примерно в два раза на неисправностях второй степени, и до трёх-четырёх раз при наличии неисправностей четвертой степени. Это вызывает ускорение интенсивности роста трещин в несколько раз [1].

Наличие дефектов и неровностей на поверхности катания головки рельсов (пробуксовки, выкрашивания, смятия, седловины, волнообразный износ и др.), аналогично, вызывает дополнительное силовое воздействие на путь и способствует появлению опасных внутренних дефектов рельсов. В связи с этим, диагностический комплекс вагона-дефектоскопа АВИКОН-03М имеет в своем составе систему измерения отдельных геометрических и динамических параметров – Мобильную инерциальную систему диагностики рельсового пути (МИСД РП).

Для регистрации коротких вертикальных неровностей рельсовых ниток (коротких просадок длиной от 0,6 м) и неровностей поверхности катания рельсов на буксовых узлах колес ходовой тележки вагона-дефектоскопа смонтированы четыре микромеханических инерциальных измерительных модуля (акселерометров).

На рис. 7 в качестве примера представлены зарегистрированные микромеханическими датчиками сигналы от неровности поверхности катания рельсов в зоне сварного стыка (дефект 46.3). На верхнем графике отображаются вертикальные ускорения буксовых датчиков, и виден скачок вниз (провал) колес в момент прохождения неровности (рис. 7а). На нижнем рисунке (рис. 7 г) схематично отображена выявленная неровность в виде треугольника, вершина которого направлена вниз, поскольку неровность представляет собой седловину. В результате математической обработки сигналов микромеханических датчиков программное обеспечение системы МИСД РП автоматически формирует список всех выявленных локальных участков с повышенным динамическим воздействием на рельсы. Параметры выявленных неровностей и их координаты определяются в программе автоматически. Естественно, результаты измерения вертикальных неровностей рельсового пути полностью синхронизированы с дефектоскопическими сигналами и видеоинформацией и могут быть проанализированы для комплексной оценки состояния контролируемого сечения.

В состав системы МИСД РП входит также блок инерциальной навигационной системы (волоконно-оптический инерциальный измерительный модуль) БИНС. Он позволяет производить измерения таких геометрических параметров рельсового пути как кривизну пути в плане, короткие перекосы на базе ходовой тележки, длинные неровности в продольном профиле и в плане, продольный уклон и др.

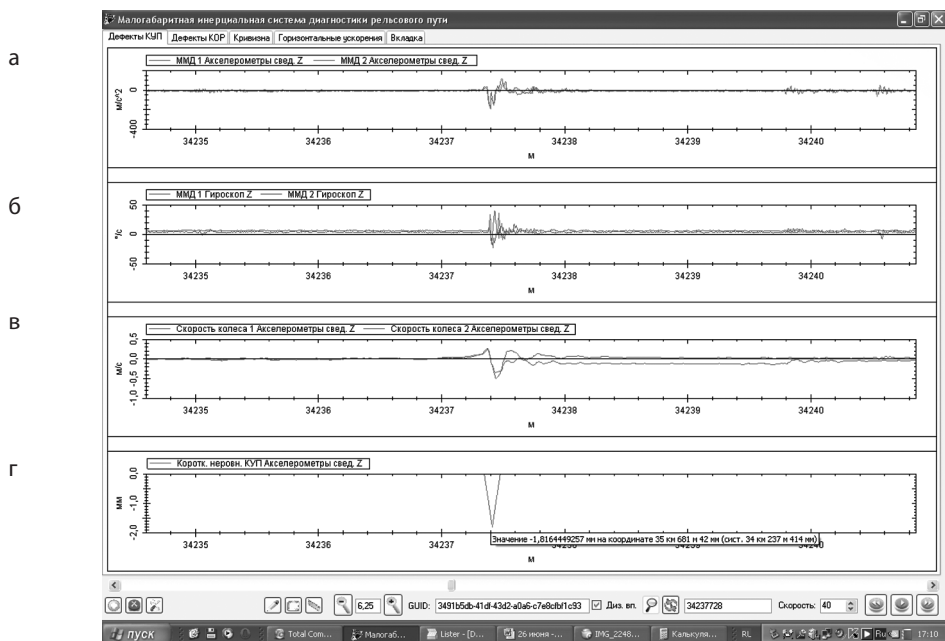


Рис.7. Сигналы системы МИСД РП от неровности на поверхности катания рельса:

а – график вертикальных ускорений колеса, м/с²;

б – показания микромеханических гироскопов; в – вертикальная скорость колеса, м/с;

г – условное отображение неровности, мм

Выявление участков пути с повышенными динамическими нагрузками (по причине отступления от норм геометрических параметров) позволит сформировать дополнительные критерии при оценке опасности обнаруженных методами дефектоскопии дефектных сечений рельсов, т.к. потенциально опасные дефекты на таких участках развиваются более интенсивно. Также появляется возможность локализовать участки с неисправностями пути, на которых в будущем возможно зарождение внутренних дефектов рельсов.

4. Повышение вероятности обнаружения дефектов

Таким образом, мы видим поэтапное развитие систем диагностики рельсов, реализуемых на вагонах-дефектоскопах АВИКОН-03.

На первом этапе в 1993 – 1997 г.г. впервые силами сотрудников ОАО «Радиоавионика» реализован совмещенный режим работы вагона-дефектоскопа (совмещение ультразвуковых и магнитодинамического методов НК). На последующих этапах (2003 – 2008 г.г.) внедрялась двухканальная система видеорегистрации рельсового пути (одна камера на одну нитку).

С 2009 г. по настоящее время система видеорегистрации рельсов модернизирована – она стала шестиканальной (плюс шесть обзорных ка-

мер). Дополнительно на вагон-дефектоскоп введена инерциальная система измерения отдельных геометрических и динамических параметров железнодорожного полотна, влияющих на развитие внутренних дефектов рельсов.

Известна формула определения вероятности обнаружения дефектов комплексом из n систем

$$P = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \dots \cdot (1 - P_n), \tag{1}$$

где P – вероятность обнаружения дефекта комплексом методов,
Pn – вероятность обнаружения дефекта n-ным методом.

Для расчета эффективности обнаружения дефектов при применении комплекса систем примем следующие начальные условия (табл. 1), полученные экспертным путем:

Таблица 1

№	Методы	Вероятность обнаружения дефекта данным методом, P
1	Ультразвуковые (8-ми канальная схема прозвучивания)	$P_{УЗ(8)} = 0.85$
2	Ультразвуковые (12 каналов)	$P_{УЗ(12)} = 0.93$
3	Магнитодинамический	$P_M = 0.3$
4	Визуальный (1 канал на нитку)	$P_{В(1)} = 0.1$
5	Визуальный (3 канала с доп. освещением)	$P_{В(3)} = 0.3$
6	Инерциальный (динамические и геометрические неровности рельсового пути)	$P_И = 0.2$

В табл. 2 приведены результаты расчета по приведенному выражению (1) повышения вероятности обнаружения дефектов вагоном-дефектоскопом АВИКОН-03М при развитии систем диагностики:

Таблица 2

Методы контроля	Расчетная вероятность обнаружения дефекта, P
УЗ(8) + МАГН	0.895
УЗ(8) + МАГН + ВИДЕО(1)	0.906
УЗ(12) + МАГН + ВИДЕО(1)	0.956
УЗ(12) + МАГН + ВИДЕО(3) + ИНЕРЦ	0.961

Рассчитаем эффект от развития систем диагностики рельсов в количественном выражении. В качестве примера рассмотрим статистику ОАО «РЖД» по дефектам за 2010 г. Всеми средствами дефектоскопии на действующих путях было обнаружено 38 422 остродефектных рельсов.

Так как дополнительные системы диагностики вагона-дефектоскопа в первую очередь ориентированы на более надежное выявление дефектов в головке рельсов (магнитный метод, 70° преобразователи у.з.к., видеоизображение поверхности катания рельсов), то рассмотрим возможности повышения вероятности обнаружения дефектов в данном сечении. Из рассмотренного общего количества обнаруженных дефектов более 68% (26 264) являются дефектами в головке рельса.

Наращивание систем диагностики рельсов дополнительными измерителями приводит к заметному увеличению вероятности обнаружения дефектов (с 0,9 до 0,96), что равносильно дополнительному обнаружению недопустимых дефектов головки рельсов более чем на 1 700 шт.

Естественно, существенный вклад в указанное приращение вносит увеличение количества каналов ультразвукового метода. Увеличение с 8 до 12 ультразвуковых каналов на каждую нитку пути поможет дополнительно выявить до 1 300 дефектов.

Из расчетов следует, что дополнение датчиков измерения неровностей рельсов в настоящее время не привело к существенному увеличению обнаружения дефектов (см. табл. 2). В то же время, необходимо учесть, что наличие на поверхности катания заметных неровностей (глубиной более 1 мм) приводит к увеличению динамического воздействия колес проходящих составов на конкретное сечение рельса. Это воздействие должно быть учтено при автоматизации расшифровки дефектограмм путем изменения весовых коэффициентов дефектоскопических сигналов в сторону увеличения. По мере наработки опыта использования инерциальной системы перечень измеряемых параметров геометрии пути будет расширяться, что дополнительно повысит надежность диагностики рельсов в пути.

Подводя итог, можно отметить, что, поэтапно развивая системы измерения вагона-дефектоскопа и расширяя их номенклатуру, достигается повышение вероятности обнаружения дефектов рельсового пути практически до предельного значения.

Эволюция возможностей вагона-дефектоскопа производства ОАО «Радиоавионика» наглядно демонстрируется гистограммой, приведенной на рис. 8.

Анализ известных мобильных систем диагностики показывает, что комплекс вагона-дефектоскопа АВИКОН-03М, описанный выше, является одним из наиболее функциональных и эффективных на мировом рынке.

В то же время возможности дальнейшего развития мобильных средств диагностики еще не исчерпаны. Требуется разработка технологии исполь-

зования получаемой вагоном комплексной информации и процедур автоматизации обработки данных для постепенного перехода к мониторингу состояния рельсового пути.

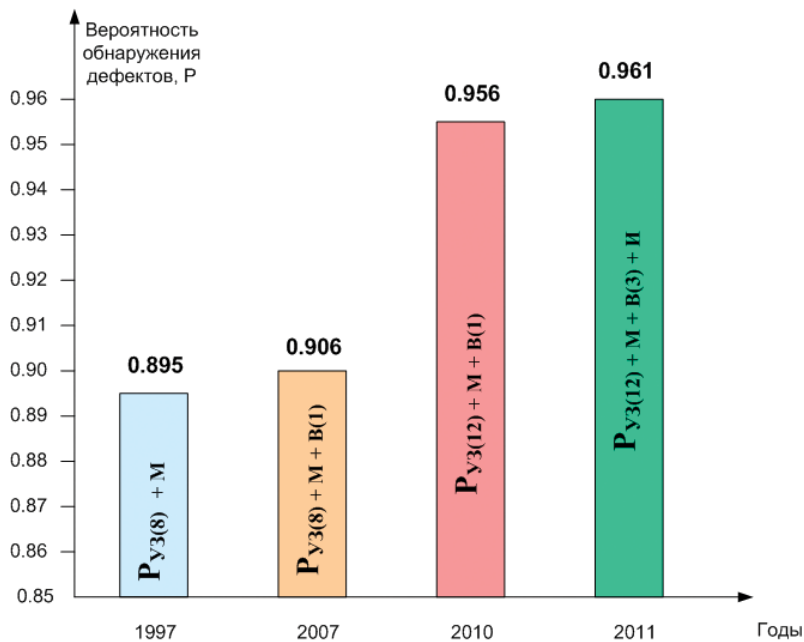
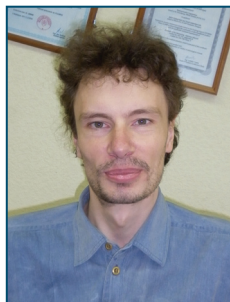


Рис.8. Изменение (расчетное) вероятности обнаружения дефектов комплексом АВИКОН-03М по мере развития диагностических систем

Литература:

1. Бельтюков В.П., Марков А.А. Комплексная оценка состояния пути. Ради-
оэлектронные комплексы многоцелевого назначения: сборник научных
трудов: юбилейный выпуск, 1991 – 2006 / ОАО «Радиоавионика» – СПб:
Береста, 2006. – 346 с.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ГОЛОВКИ РЕЛЬСА ПО ДАННЫМ МАГНИТНОГО КАНАЛА ВАГОНА-ДЕФЕКТОСКОПА



А.Г. АНТИПОВ

*Ведущий специалист
НТК СНК*

Изучена возможность использования данных магнитного канала мобильных средств дефектоскопического контроля для выявления поверхностных повреждений головки рельса. Предложены меры по улучшению выявляемости поверхностных повреждений рельса посредством дополнительной цифровой обработки сигнала.

Поверхностные повреждения головки рельса являются наиболее распространенным типом дефектов в рельсовой дефектоскопии. Однако задаче обнаружения подобных дефектов зачастую не уделяется должного внимания, поскольку основная часть металла рельса оказывается незатронутой и, следовательно, никаких катастрофических последствий поверхностные повреждения сами по себе вызвать не могут. Вместе с тем, известно, что наличие большого количества повреждений рабочей поверхности рельсового пути оказывает негативное воздействие на состояние подвижного состава железной дороги. Другим фактором отрицательного влияния поверхностных повреждений является то, что там, где они имеются, иные, потенциально более опасные типы дефектов развиваются чаще по сравнению с гладкими изначально участками. Последнее обстоятельство объясняется большими динамическими нагрузками, которые испытывает рельс с поврежденной поверхностью при движении по нему подвижного состава. В связи с вышесказанным проблема обнаружения поверхностных дефектов рабочей грани рельса выглядит весьма актуальной.

В настоящее время на железных дорогах эксплуатируются мобильные средства контроля – автомотрисы и вагоны-дефектоскопы, реализующие магнитные методы дефектоскопии. Магнитные датчики индукционного типа фиксируют изменения тангенциальной составляющей поля над головкой продольно намагниченного рельса. Возникает вопрос – в какой мере полученные таким образом данные пригодны для обнаружения поверхностных повреждений рельса и что можно дополнительно предпринять для повышения выявляемости дефектов подобного типа?

На рис.1 показан 75-метровый участок пути, содержащий более десятка поверхностных дефектов различной величины, так, как он выглядит на экране оператора программно-аппаратного комплекса неразрушающего контроля

(ПАК НК). На записи данных магнитного канала на расстоянии 25м друг от друга отчетливо видны отклики от трех стыков сварного пути – характерные М-образные группы импульсов (рис.2).

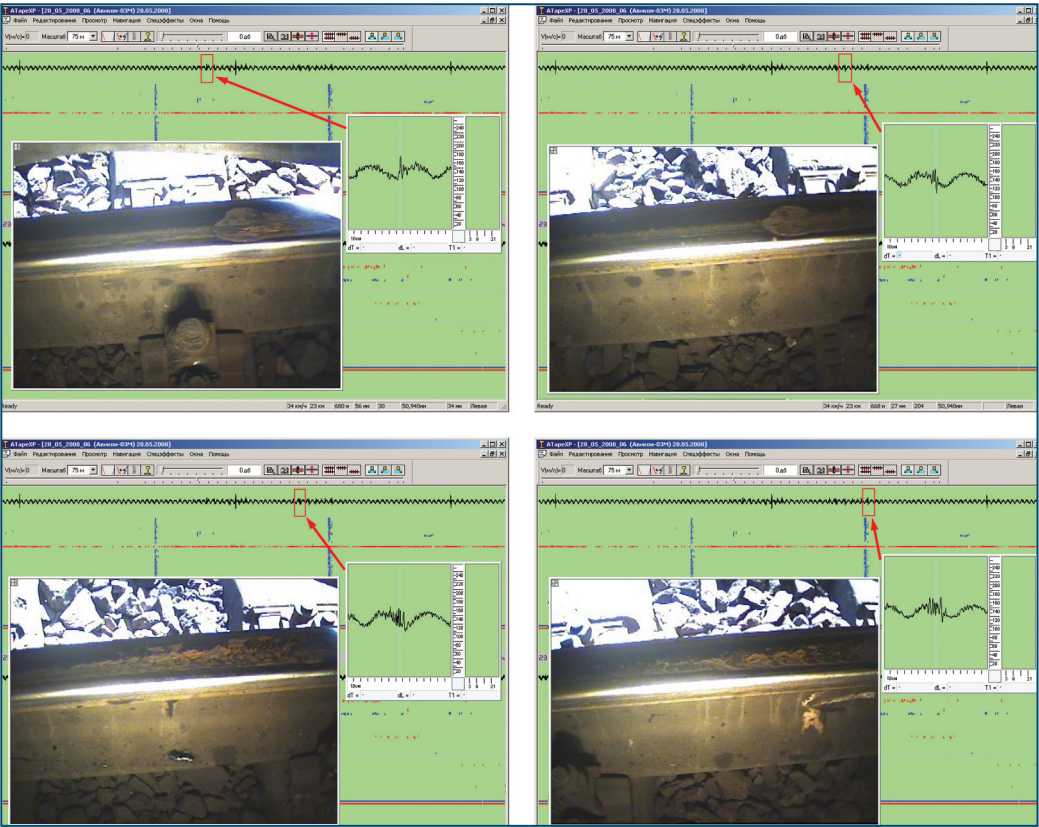


Рис. 1 Дефектограммы с сигналами от поверхностных повреждений головки рельса (записаны на вагоне с дефектоскопическим комплексом АВИКОН-03М)

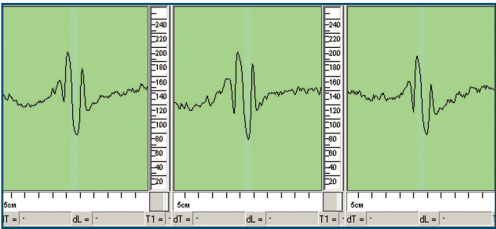


Рис.2. Сигналы от сварных стыков на магнитном канале

приведены кадры, которые сняты камерой, установленной со стороны рабочей кромки рельса. Действительно, амплитуда сигналов от поверхностных повреждений сравнима по величине с амплитудой подкладочного процесса –

периодических колебаний магнитного поля, обусловленных влиянием ферромагнитных элементов креплений шпал – и лишь в несколько раз превышает величину естественного шума, наблюдаемого в магнитном канале.

Чтобы оценить характеристики сигналов магнитного канала, порождаемые поверхностными повреждениями, рассмотрим модель дефекта головки рельса, построенную на двумерной сетке 1000×700 (рис. 3 а).

Геометрические размеры «выщербины» – около 3 см в горизонтальном направлении, до 2 мм глубиной; магнитное поле в рельсе – 0.5 Тл, что по

порядку величины соответствует тем полям, которые генерируют намагничивающие системы вагонов-дефектоскопов. Расчеты велись методом конечных разностей применительно к векторному потенциалу магнитного поля.

Результаты вычислений отражены на рис.3а-с. Над рельсом наблюдается поле рассеяния, порожденное неоднородностью границы ферромагнетика, величина модуля индукции поля показана интенсивностью цвета. Вблизи рельса (менее 5 мм от его поверхности) поле неоднородно, его величина варьируется в зависимости от локальной геометрии границы воздух-сталь. На большем расстоянии от поверхности рельса поле рассеяния принимает правильную геометрическую форму. Очевидно, что поле вблизи поверхности рельса содержит информацию о локальных характеристиках повреждения, в то время как на некотором отдалении – о его геометрических размерах в целом. По своей величине поля рассеяния относительно слабые – максимум индукции (~ 1.5 мТл), достигаемый на расстоянии порядка 1 см от поверхности рельса, приблизительно в 1.5 раза превышает фон, генерируемый намагничивающей системой в воз-

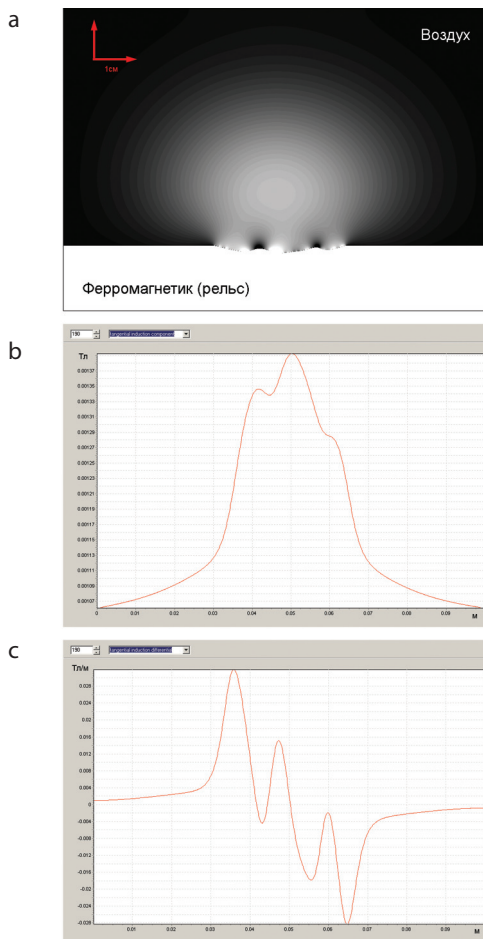


Рис.3. Результаты численного моделирования поверхностного повреждения рельса: а) распределение модуля индукции магнитного поля вблизи дефекта; б) тангенциальная составляющая индукции в 1 см от поверхности рельса; в) производная тангенциальной составляющей

духе. Таким образом, дополнительное поле, порождаемое рассматриваемым дефектом, составляет не более половины от того, что существует над идеально гладким рельсом. Тем не менее, по абсолютной величине оно на порядок больше естественного магнитного поля Земли ($\sim 0.05 \text{ мТл}$). На рис. 3b показано распределение тангенциальной составляющей магнитного поля на расстоянии 4 мм от поверхности рельса. На рис. 3с – производная распределения тангенциальной составляющей по горизонтальной координате – именно та величина, которая фиксируется дифференциальным индукционным датчиком искательной системы. Амплитудные и частотные характеристики импульсов сравнимы с теми, что наблюдаются в реальных условиях (рис.1).

Таким образом, малая величина сигналов от поверхностных повреждений составляет основную трудность при работе с ними. Возникает проблема – как выделить эти слабые сигналы на фоне подкладочного процесса и естественного шума магнитного канала? Чтобы решить ее, воспользуемся цифровой обработкой данных магнитного канала.

На рис.4а показан участок исходной записи магнитного канала, на котором красным выделены результаты работы модуля автоматической расшивки, ориентированного на работу с амплитудными характеристиками сигнала: кроме откликов от трех сварных стыков, никаких иных заслуживающих внимания импульсов не обнаружено. Дабы устранить негативное влияние подкладочного процесса, применим фильтр высоких частот, подавляющий спектральные компоненты с периодом более некоторого предела. Спектральная характеристика исходного сигнала изображена на рис.5: отчетливо виден пик, соответствующий диапазону частот 1.8-1.9 периода на метр.

Очевидно, что существование этого пика связано с основной частотой подкладочного процесса, которая, в свою очередь, определяется плотностью укладки шпал на рассматриваемом участке пути (в данном случае – 1840 шпал на километр). Используем фильтр, подавляющий спектральные компоненты с периодом более 20 см. Такой фильтр оказывает воздействие не только на основную частоту подкладочного процесса, но и на ее вторичную гармонику с частотой ~ 3.7 периода на метр, также хорошо заметную на рис. 5. Вместе с тем, сигналы от поверхностных повреждений практически не затрагиваются фильтром, так как их основные частоты более чем на порядок выше частоты подкладочного процесса. Результат фильтрации показан на рис. 4b. Чтобы уменьшить влияние хаотичного высокочастотного шума, проведем сглаживание отфильтрованного сигнала с окном 18 мм. Результаты сглаживания представлены на рис. 4с.

Результаты работы модуля автоматической расшивки с отфильтрованным и сглаженным сигналом заметно отличаются от тех, что были получены с исходным сигналом. Как видно на рис. 4d, локализованы не только импульсы сварных стыков, но и импульсы, порожденные поверхностными повреждениями. Отчетливо заметны две серии, в каждой из которых имеется по несколько

повреждений на равном расстоянии друг от друга. Можно предположить, что эти повреждения – последствия некоторого периодического процесса, например — движения колеса.

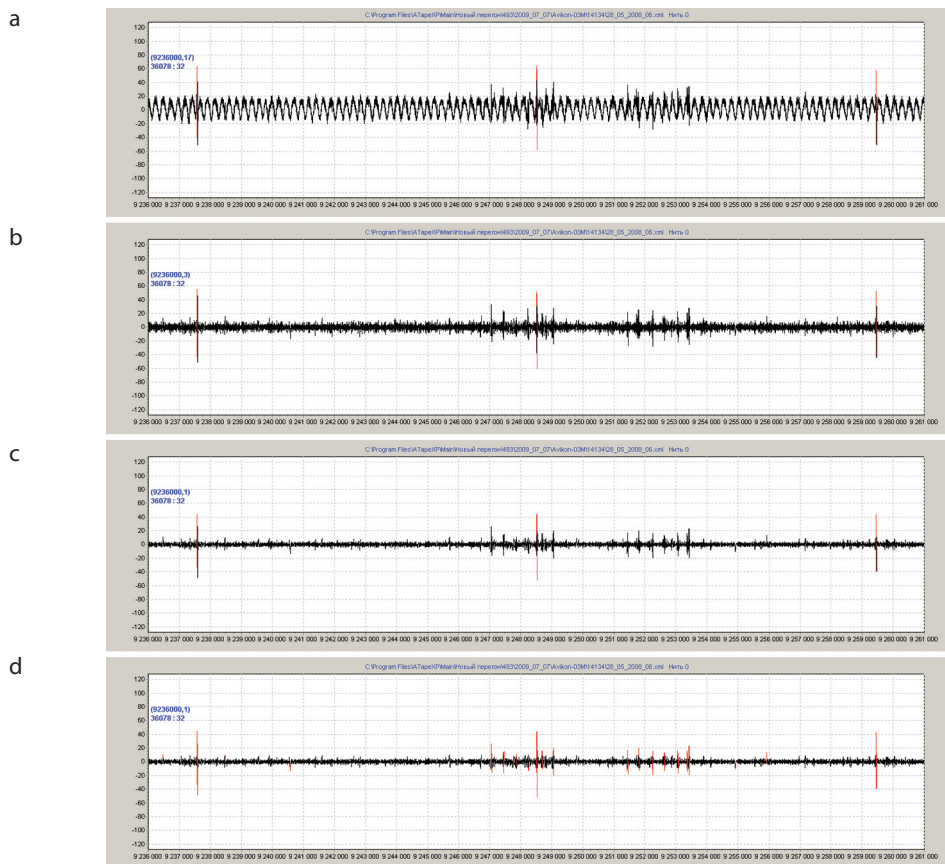


Рис.4. Цифровая обработка сигнала магнитного канала: а) исходный сигнал; б) после применения фильтра верхних частот; в) после фильтрации и сглаживания; д)разметка обработанного сигнала

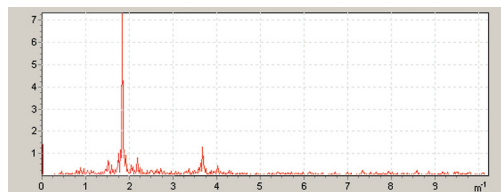


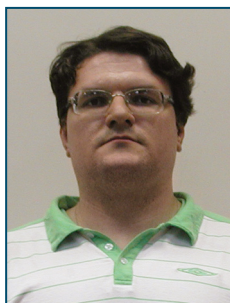
Рис.5. Частотный спектр сигнала магнитного канала

Полученные результаты свидетельствуют о том, что данные магнитного канала вполне пригодны для выявления поверхностных повреждений головки рельса. Однако необходимым условием обеспечения высокой вероятности обнаружения дефектов является дополнительная автоматическая обработка оцифрованного сигнала.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СТЫКОВ РЕЛЬСОВ ДЕФЕКТОСКОПОМ МИГ-УКСМ



А.Б. КОЗЬЯКОВ
Заместитель директора
НТК СНК по научной
работе. Дипломант
Всероссийского конкурса
«Профессиональные инженеры»



А.Д. ШПАГИН
Инженер-программист



Ю.А. МАРКОВ
Заместитель начальника
службы сервиса.

Рассмотрены особенности новой технологии автоматизированного контроля сварных стыков рельсов дефектоскопом МИГ-УКСМ. Проблема автоматизации ультразвукового контроля сварных стыков рельсов является актуальной для всех железных дорог и в настоящее время ни в одной стране полностью не решена: на всех железных дорогах мира контроль сварных стыков производится посредством ручного сканирования.

Дефектоскоп МИГ-УКС, разработанный ОАО «Радиоавионика» в 2005 г., впервые реализует технологию автоматизированного контроля сварных стыков рельсов с получением документа контроля (рис. 1). В данном дефектоскопе контроль сварных стыков производится всего лишь за две установки искательной системы. Озвучивание зоны сварки рельсов производится из двух стационарных положений акустических блоков.



Рис. 1. Работа с дефектоскопами
МИГ-УКС в пути

При этом контроль осуществляется по трем методам: эхо-, зеркальному и дельта. Всего за период 2006–2008 г.г. выпущено и поставлено на сеть дорог ОАО «РЖД» 60 комплектов МИГ-УКС. В процессе эксплуатации базового варианта дефектоскопа МИГ-УКС на семи железных дорогах России сформулирован ряд замечаний по работе данного дефектоскопа.

Основными из них являются:

- зависимость выявляемости ряда дефектов от точности позиционирования дефектоскопа по центру сварного стыка;
- нестабильная повторяемость результатов контроля;
- сложная форма представления информации на экране дефектоскопа;
- нестабильный акустический контакт, особенно блоков резонаторов, устанавливаемых на перья подошвы;
- ложные срабатывания отдельных каналов дефектоскопа, вызванные поверхностными неровностями.

Кроме того, в ходе эксплуатации МИГ-УКС проявились и другие недостатки, такие как:

- повреждения нижних блоков резонаторов при установке на щебень при пропуске поездов;
- неудобство доставки к месту работы путем ручного перемещения по рельсу;
- неудобство переноски дефектоскопа обслуживающим персоналом;
- малый объем резервуара для контактирующей жидкости.

Для устранения перечисленных выше недостатков в период с мая 2010 г. по март 2011 г. проведена модернизация МИГ-УКС, выполненная в соответствии с дополнением к Техническому заданию на данный дефектоскоп ультразвуковой, утвержденным Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 03.02.2011 г. Модернизированный дефектоскоп МИГ-УКС УДС2-116 получил новое название — МИГ-УКСМ УДС2-122.

В дефектоскопе МИГ-УКСМ (в отличие от базовой версии МИГ-УКС) реализован контроль сварного стыка при сканировании ПЭП по рельсу. В данном дефектоскопе проверка сварного стыка производится:

- по зеркальному методу ультразвукового контроля при стационарном позиционировании ПЭП с двух сторон от сварного стыка (рис. 2);
- по эхо-методу при сканировании по рельсу акустическими блоками в зоне сварки на расстоянии ± 360 мм от центра стыка. При этом в движение приводятся не блоки резонаторов по отдельности, а сам дефектоскоп в целом.

В режимах, реализующих работу МИГ-УКС при стационарном позиционировании ПЭП (зеркальный метод) на мнемоническом изображении рельса индицируются зоны сечения рельса, в которых находится отражатель (рис. 3).

В режимах, реализующих работу МИГ-УКСМ при сканировании ПЭП по рельсу (эхо-метод), сигналы контроля отображаются в виде развертки типа В (рис. 4).

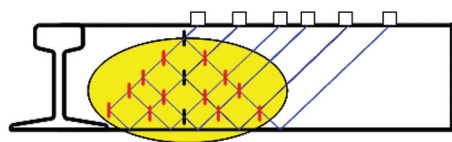


Рис. 2. Контроль сварного стыка дефектоскопом МИГ-УКСМ по зеркальному методу

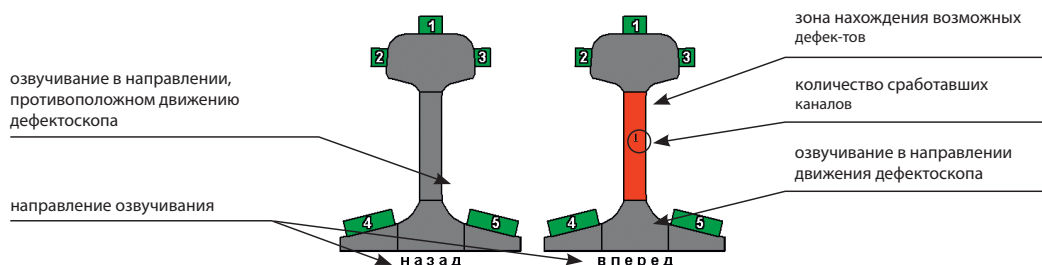


Рис. 3. Отображение результатов контроля при озвучивании сварного стыка по зеркальному методу дефектоскопом МИГ-УКСМ

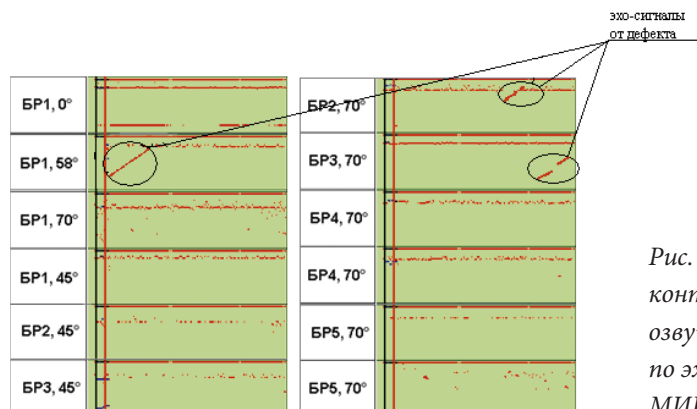


Рис. 4. Отображение сигналов контроля (поканальное) при озвучивании сварного стыка по эхо-методу дефектоскопом МИГ-УКСМ

На рис. 4 развертка типа В представлена в режиме, когда каждый канал занимает одну, отведенную ему дорожку. При этом расположение сигналов соответствует неперевернутому рельсу (зондирующий импульс — сверху). В то же время предусмотрена возможность изменения отображения сигналов в таком виде, чтобы оно соответствовало перевернутому рельсу (зондирующий импульс — снизу). Кроме поканального отображения сигналов возможен также альтернативный вариант отображения В-развертки — в виде рельса (рис. 5).

При такой форме отображения информации на экране присутствуют одновременно только три дорожки. Первая дорожка представляет собой вид рельса сбоку и на ней производится отрисовка сигналов, полученных от ПЭП верхней грани головки и озвучивающих все сечение рельса. На второй дорожке представлен вид рельса сверху, а отображаются на ней

сигналы от ПЭП, озвучивающих боковые грани головки рельса. На третьей дорожке отображаются сигналы, полученные ПЭП, сканирующих перья подошвы рельса.

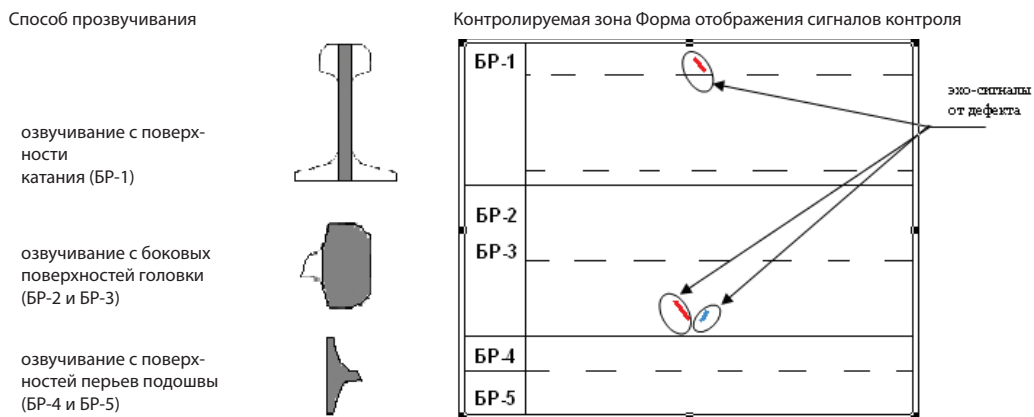


Рис.5. Отображение сигналов контроля в виде рельса при озвучивании сварного стыка по эхо-методу дефектоскопом МИГ-УКСМ

Следует отметить, что дефектоскоп МИГ-УКС является средством автоматизированного контроля, реализующим этап ПОИСКА возможных дефектов. Окончательное решение о качестве сварного стыка (этап ОЦЕНКА) выполняется путем сканирования сварного стыка ручным ПЭП по действующей технологии (в соответствии с ТИ 07.42-2004) непосредственно в пути. В качестве дефектоскопа вторичного контроля используется электронный блок МИГ-УКС, что позволяет производить уточняющий контроль сварного стыка в рамках автоматизированного контроля.

Дополнительно в МИГ-УКСМ реализована возможность повторного просмотра результатов контроля сварных стыков на персональном компьютере в участке дефектоскопии. С этой целью на каждый проконтролированный стык формируется протокол контроля, который затем передается через стандартную флеш-карту на стационарный ПК. По технологии работы с МИГ-УКСМ каждый протокол контроля должен быть расшифрован с выдачей «подозрительных» мест на перепроверку.

Расшифровка протоколов, записанных МИГ-УКСМ, производится при помощи специальной программы отображения, которая индицирует (рис. 6):

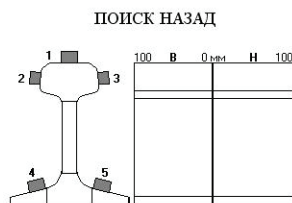
- зоны локации возможных дефектов на мнемоническом изображении рельса (головка, шейка или подошва рельса) при контроле по зеркальному методу;
- развертку типа В по каналам контроля стыка по эхо-методу.

ПРОТОКОЛ № 170611_1_1

ультразвукового контроля сварного стыка дефектоскопом МИГ-УКС

Предприятие: ПЧ-20 Лод.Поле, Окт. ж. д. жд.
 Оператор: Тарелкин В. В.
 Контроль проведен 17.06.11 в 11:09
 Зав. № дефектоскопа: 07073
 Данные GPS отсутствуют.

Путь № 1, нить правая
 Километр 168, пикет 5, рельс Р65
 Плеть: 0000
 Сварной стык № 7



Результаты сканирования

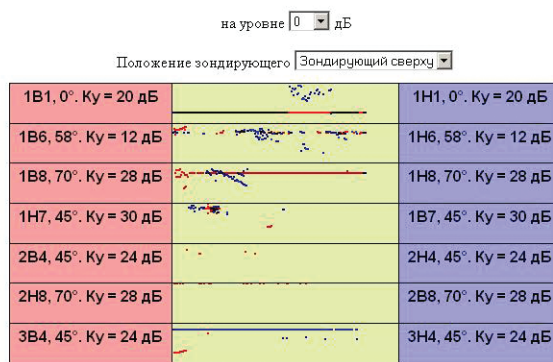


Рис.6. Фрагмент протокола контроля дефектоскопа МИГ-УКСМ

Программа отображения также позволяет вести базу данных протоколов, поступающих сразу от нескольких дефектоскопов. При этом можно просматривать список имеющихся в базе протоколов как от одного выбранного прибора, так и от всех приборов сразу.

База данных оснащена календарем, на котором выделены те числа, за которые имеются протоколы в базе. При выборе того или иного числа на календаре формируется список протоколов, которые имеют соответствующую дату создания. При отображении в программе результатов сканирования предусмотрена возможность оперативно изменить порог отображения сигналов в пределах от -6 до +6 дБ. Кроме того, разработан новый вид отображения В-развертки, при котором более четко видны пачки сигналов на дорожках, а также для более быстрой расшифровки по краям дорожек приведена информация о том, какую часть рельса озвучивает данный канал.

Для повышения надежности МИГ-УКС и его эргономичности в конструкции дефектоскопа выполнен также ряд конструктивных изменений.

В результате модернизации многоканального дефектоскопа МИГ-УКС данный дефектоскоп приобрел новые качества, обеспечивающие более надежный контроль сварных стыков рельсов по сравнению с его базовой версией.

27–28 апреля 2011 г. дефектоскоп МИГ-УКСМ успешно прошел комиссионные приемочные испытания и рекомендован к использованию на сети дорог ОАО «РЖД».

Модернизация дефектоскопа МИГ-УКС позволила не только успешно пройти приемочные испытания в ОАО «РЖД», но и за короткое время предварительных испытаний на Северо-Кавказской ж.д. (ПЧ-6, г. Тихорецк), а также эксплуатации на Октябрьской ж.д. (ПЧ-20, г. Лодейное Поле) обнаружить 5 опасных дефектов в сварных стыках (по кодам 26.3 – 3 шт. и 56.3 – 2 шт.). Такие результаты дают уверенность в том, что внедрение дефектоскопов МИГ-УКСМ позволит дополнительно повысить безопасность движения поездов на железных дорогах России.

Литература:

1. Стандарт отраслевой СТО 1.11.003-2009 «Метод ультразвукового контроля сварных стыков рельсов».
2. Дополнение к Техническому заданию на дефектоскоп ультразвуковой МИГ-УКС УДС2-116 (утв. ЦП ОАО «РЖД» 03.02.2011 г.).
3. Технологическая инструкция по ультразвуковому контролю электроконтактных сварных стыков рельсов в пути дефектоскопом ультразвуковым МИГ-УКСМ УДС2-122.

ПРИМЕНЕНИЕ КОЛЕСНЫХ ИСКАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СПЛОШНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ



В.В. МОСЯГИН
Заместитель
директора НТЦ



В.Е. ОЛЕЙНИК
Старший инженер
НТК СНК



Е.А. КУЗНЕЦОВА
Ведущий инженер
НТК СНК



А.С. АФАНАСЬЕВ
Инженер НТК СНК

Проведен сравнительный анализ впервые разработанных в России колесных искательных систем и искательных систем скольжения для ультразвукового контроля железнодорожных рельсов.

В настоящее время сеть железных дорог ОАО «РЖД» проверяется ультразвуковыми средствами контроля. Наличие множества болтовых стыков диктует необходимость создания искательной системы, менее подверженной износу на стыковых зазорах и обеспечивающей надежный акустический контакт на концах рельсов в болтовых стыках. Все эксплуатируемые на сети железных дорог средства ультразвуковой дефектоскопии рельсов основаны на контактном способе ввода упругих колебаний с помощью систем скольжения (рис.1). В системе скольжения в процессе сканирования под акустический блок подается контактирующая жидкость.



Пьезоэлектрический преобразователь

Рис. 1.
Искательная система скольжения

За многие годы эксплуатации системы скольжения положительно рекомендовали себя за счет простоты конструкции акустических блоков

и возможности достаточно быстрой замены неисправного преобразователя в акустическом блоке. При этом известными недостатками дефектоскопических комплексов и средств с искательными системами скольжения являются [1]:

- значительная флуктуация амплитуд сигналов от однотипных отражателей вследствие низкой стабильности условий ввода у.з. колебаний;
- возможное ухудшение акустического контакта на значительных протяженностях сканируемой траектории при контроле рельсов в реальных условиях из-за неравномерности подачи контактирующей жидкости;
- некачественный контроль концевых участков рельсов в зоне болтового стыка, поверхность которых повреждена или имеет характерный «провис», «понурист» или «ступеньку» в концевой части, вследствие неприлегания преобразователей;
- подверженность рабочей поверхности преобразователей механическому износу и, как следствие, изменение параметров контроля (условной чувствительности, искажение диаграммы направленности, изменение шумовой характеристики преобразователя и др.) в процессе контроля;
- большой расход контактирующей жидкости.

Указанные недостатки могут привести к пропуску дефектов, нестабильным результатам контроля, необходимости повторного контроля отдельных участков. На железных дорогах многих стран мира все шире находят применение альтернативные способы ввода у.з. колебаний в металл рельса. Многие мобильные и съемные средства дефектоскопии рельсов фирм Sperry Rail Service (SRS – США), Rail Technology International (RTI – Австралия), ТОКИМЕС (Япония) оснащены колесными искательными системами (рис. 2) [2]. В некоторых странах мира использование системы скольжения и вовсе запрещено.



Для повышения качества контроля рельсов ОАО «Радиоавионика» разработало двухниточный ультразвуковой дефектоскоп АВИКОН-14 на основе искательных систем качения (рис. 3). Данные дефектоскопы являются первыми в России прибо-

Рис. 2. Автомобиль-дефектоскоп с искательными системами качения производства фирмы Rail Technology International

рами, реализующими альтернативный ввод и прием у.з. колебаний с помощью искательных систем качения. В искательной системе качения (рис. 4) применены ультразвуковые преобразователи, смонтированные в колесо с упругой полиуретановой оболочкой, заполненное иммерсионной жидкостью.

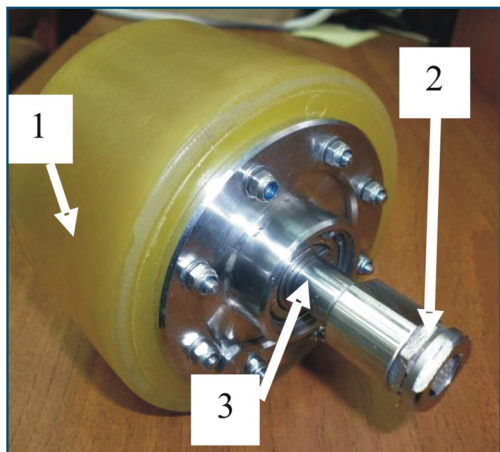


Рис. 4. Искательная система качения:

- 1 – эластичная оболочка;
- 2 – электрический разъем,
- 3 – неподвижная ось

наличия поверхностных неровностей (смятий, пробуксовок, «ступенек» и др.). Это позволяет обеспечивать стабильный акустический контакт между колесом и рельсом в широком диапазоне скоростей сканирования. В ходе опытной эксплуатации дефектоскопов АВИКОН-14 были получены первые дефектограммы результатов контроля рельсового пути искательными системами качения.

Эксплуатационные испытания дефектоскопа АВИКОН-14 проводились в паре со штатными двухниточными дефектоскопами АВИКОН-01 или РДМ-2. Это позволило выполнить сравнительный анализ дефектограмм, полученных при идентичных условиях, с помощью новой искательной системы качения и традиционной системы скольжения. Необходимо отметить, что опытная эксплуатация проводилась в основном в весьма сложных климатических условиях осенне-зимнего периода (дождь, снег, ветер и т.п.), иногда на рельсах весьма низкого качества (приемо-отправочные пути, съезды, рельсы с коррозионным повреждением поверхности катания).



Рис. 3. Колесная искательная система двухниточного ультразвукового дефектоскопа АВИКОН-14

При этом преобразователи смонтированы неподвижно на оси колеса, иммерсионная жидкость выполняет роль акустической призмы, а упругая оболочка колеса вращается относительно оси колеса. Ультразвуковые колебания, проходя через иммерсионную жидкость и через полиуретановую оболочку, под разными углами вводятся в металл рельса согласно заданной схеме прозвучивания.

Благодаря своей эластичности, оболочка плотно прилегает к поверхности катания рельса даже при значительном износе головки или при

Сравнительный анализ дефектограмм включил в себя оценку:

- качества контроля зон болтовых стыков;
- стабильности измеряемых характеристик однотипных отражателей;
- обнаружения дефектов на контрольном тупике.

С целью оценки качества контроля зон болтовых стыков рельсов колесной искательной системой проведен сравнительный анализ пачек сигналов от более 300 болтовых отверстий и отверстий под соединители (диаметром 9-10 мм). При анализе подсчитывалось количество незафиксированных дефектоскопами отверстий в шейке рельсов. Результаты анализа показали (табл. 1), что дефектоскоп с колесной искательной системой уверенно зафиксировал практически все (кроме одного) отверстия в шейке наклонными каналами $\alpha=45^\circ$. В то же время дефектоскоп с системой скольжения аналогичными каналами не обнаружил 15–30% отверстий. Очевидно, это связано с перечисленными выше недостатками систем скольжения

Таблица 1

Сравнительный анализ пропущенных отверстий в шейке рельса

Канал (угол ввода)	Кол-во необнаруженных болтовых отверстий системой, %	
	скольжения	колесной
Наезжающий ($\alpha=45^\circ$)	15.6	0
Отъезжающий ($\alpha=45^\circ$)	28.8	0,3

Для сравнительной оценки стабильности акустического контакта проанализированы измеряемые характеристики от ста болтовых отверстий:

- величина превышения эхо-сигналов над пороговым уровнем (при постоянной чувствительности каналов);
- условная высота.

Диаграммы с результатами приведены на рис. 5 и 6 соответственно.

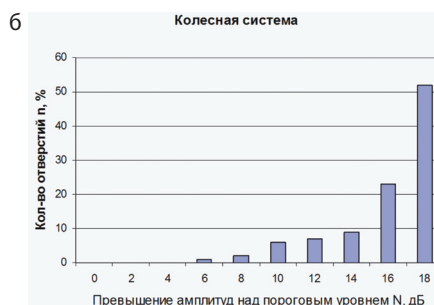


Рис. 5. Результаты измерения превышения амплитуд сигналов от отверстий над пороговым уровнем дефектоскопа с искательной системой: а – скольжения; б – качения

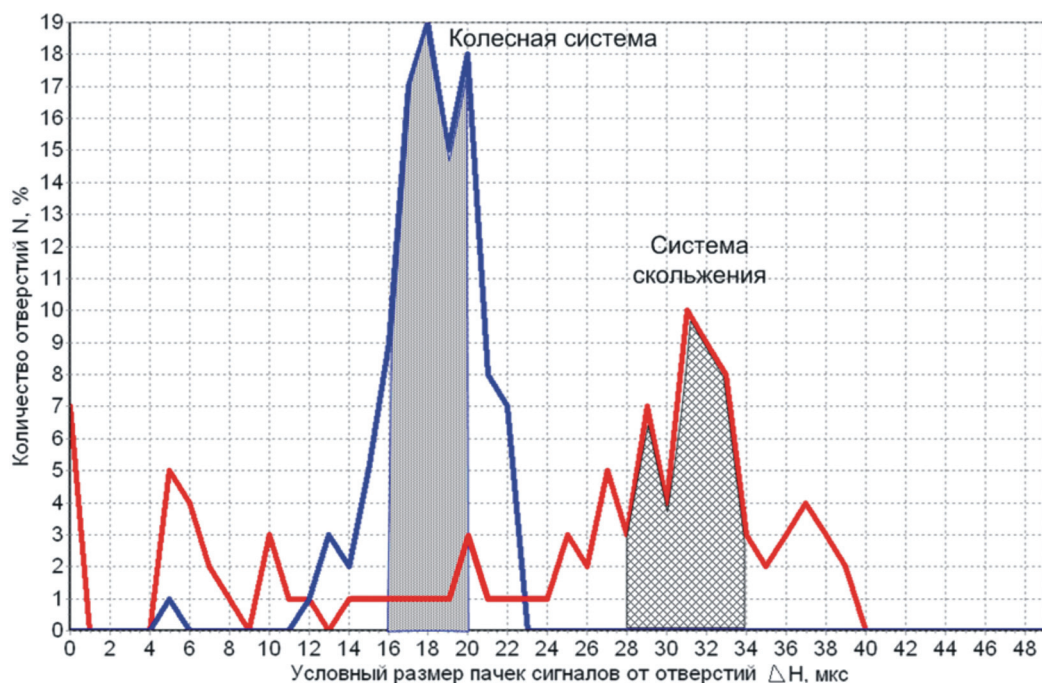


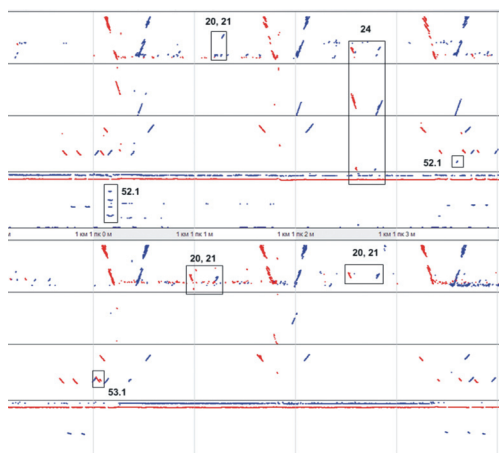
Рис. 6. Разброс результатов измерения условных размеров отражателей при сканировании колесной системой и системой скольжения

Из рис. 5 следует, что в колесной системе более 70% отверстий амплитуда сигналов на 16-18 дБ превышает пороговый уровень (см. рис. 5, 6). Минимальное значение превышения амплитуды порогового уровня составляет $N=6$ дБ, в то время как у системы скольжения амплитуда сигналов от болтовых отверстий значительно флуктуирует, только 40% эхо-сигналов превышает пороговый уровень на 16-18 дБ, а порядка 15% отверстий вообще не превышает пороговый уровень (не обнаружены).

На рис. 6 видно, что условные размеры сигналов от болтовых отверстий, полученные системой скольжения, имеют значительный разброс от среднего значения. Причем нижние значения показателя ΔH (0-26 мкс) очевидно связаны с недостатком акустического контакта под блоками резонаторов с поверхностью сканирования. В то же время условные размеры сигналов от болтовых отверстий, полученные колесной системой, имеют минимальный разброс, что свидетельствует о стабильности условий ввода у.з. колебаний.

Анализ дефектограммы контрольного тупика дефектоскопами с колесной искательной системой показал, что дефекты уверенно выявляются. При этом многократная запись сигналов контрольного тупика указывает на высокую повторяемость результатов контроля (рис.7).

а



б

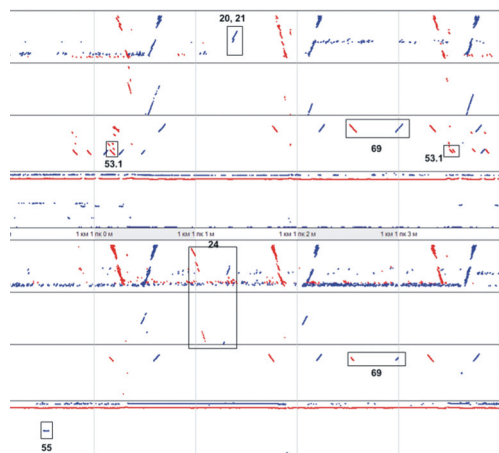


Рис. 7. Дефектограмма контрольного тупика: а - путь 1, б - путь 2

Таким образом, проведенный анализ показывает, что качество контроля колесной искательной системой выше, чем у традиционных систем скольжения. Особенно это проявляется при контроле болтовых стыков (звеньев пути).

Компетентная приемочная комиссия ОАО «РЖД» рекомендовала дальнейший выпуск дефектоскопов АВИКОН-14 с колесными искательными системами.

Литература:

1. Марков А.А., Гараева В.С. Проблемы обеспечения акустического контакта в зоне болтовых стыков рельсового пути // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – №12. – С. 15-17.
2. Марков А.А. Зарубежные системы контроля // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – №9.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С НЕОБРАБОТАННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ С ПОМОЩЬЮ КОЛЕСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ЭЛАСТИЧНЫМ ПРОТЕКТОРОМ



А.А. МАРКОВ
Директор НТК СНК



В.Е. ОЛЕЙНИК
Старший инженер НТК СНК

Для контроля ответственных объектов промышленности предлагается использовать ультразвуковые колесные преобразователи, обладающие рядом достоинств по сравнению с датчиками скольжения.

Безопасность ответственных объектов в наиболее важных для развития страны отраслях промышленности обеспечивается периодической проверкой узлов и деталей с помощью неразрушающих методов контроля.

Самым распространенным методом неразрушающего контроля является ультразвуковой, где ввод ультразвуковых (у.з.) колебаний в объект контроля осуществляется с помощью преобразователей, скользящих по поверхности сканирования, предварительно смоченной контактирующей жидкостью.

Железнодорожный транспорт, в частности, является отраслью, где объем ультразвукового контроля является максимальным. Неслучаен тот факт, что наибольшее техническое развитие ультразвуковой контроль получил при использовании на железных дорогах. Именно в железнодорожной дефектоскопии возникали и решались такие вопросы, как разработка многоканальных производительных схем прозвучивания (для лучшего выявления различно ориентированных дефектов), а также вопросы обеспечения непрерывной регистрации сигналов контроля и последующего анализа полученных данных; соблюдения стабильного акустического контакта; повышения износостойкости искательных систем.

На железных дорогах России для контроля рельсового пути на наличие внутренних дефектов используются съемные дефектоскопные тележки, вагоны-дефектоскопы, дефектоскопные мотриссы и портативные приборы.

Железнодорожные пути, развернутая длина которых составляет около 146 тыс. км, ежемесячно проверяют не менее 2-4 раз. Но несмотря на такой тщательный контроль, все же происходят изломы рельсов.

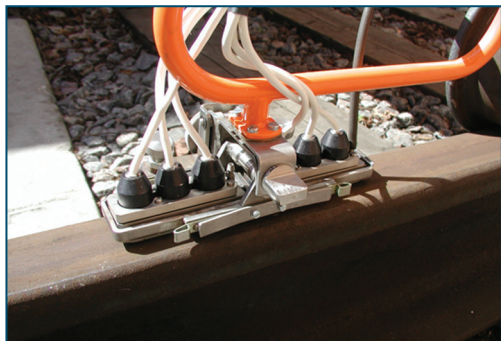


Рис. 1. Искательная система скольжения, применяемая на съемных дефектоскопах

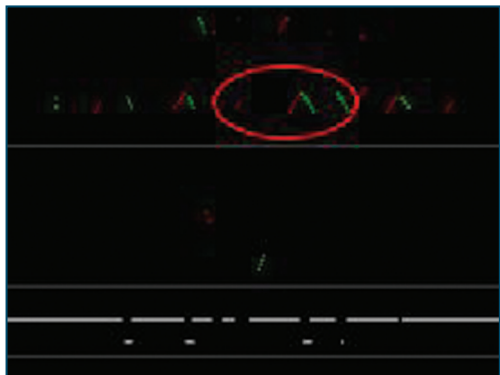
износа преобразователей, способствующие появлению некачественно проконтролированных участков, что в свою очередь ведет к возможным пропускам опасных дефектов и изломам рельсов.

Качество сплошного ультразвукового контроля рельсов зависит, в первую очередь, от наличия стабильного акустического контакта, а также от конструкции акустической системы (искателя), его параметров настройки, состояния поверхности катания рельса, температуры окружающей среды, скорости контроля и т.д. В свою очередь, основным параметром, по которому сегодня можно судить о качестве акустического контакта, а, следовательно, и эффективности проведенного у.з. контроля рельсов, является наличие донного сигнала от подошвы рельса в канале прямых преобразователей (углом ввода 0°).

Проведенный анализ дефектограмм дефектоскопных тележек разных производителей (малые скорости контроля до 5 км/ч), в ходе которого было проанализировано 16457 стыков, показал, что контроль 10-20 % болтовых стыков с качественной на первый взгляд записью не был полноценным. На записях встречались болтовые стыки, где не было прописано первое болтовое отверстие, пропадал донный сигнал (рис. 2). Стоит отметить, что анализировались записи, полученные на главных путях, отличающихся прикатанной (в какой-то мере обработанной) поверхностью катания. Неудовлетворительная запись на таких объектах контроля обусловлена различными неровностями поверхности сканирования, которые не может пройти искательная система скольжения. Предотвратить пропадание акустического контакта и пропуска дефектов может позволить искательная система с колесными преобразователями (рис. 3), основанная не на трении, а на качении по объекту контроля - колесная искательная система или искательная система качения.

Применение во всех средствах у.з. контроля на железных дорогах искательных систем, основанных на скольжении преобразователей (рис. 1), обуславливает ряд недостатков, напрямую влияющих на качество контроля. К таким недостаткам относятся периодические нарушения акустического контакта из-за недостаточного прилегания преобразователей к поверхности сканирования, изменение параметров преобразователей из-за наличия трения и

а



б



Рис. 2. Неполноценная запись болтового стыка:

а – не прописано первое болтовое отверстие; б – пропадание донного сигнала



Рис. 3. Ультразвуковые колесные преобразователи

Основными преимуществами таких искательных систем являются: лучшее облегание эластичным протектором (оболочки) колесного преобразователя поверхности объекта контроля и нечувствительность к неровностям и коррозии; существенно меньший износ протектора; долговечность пьезопреобразователей; меньший расход контактирующей жидкости. Искательная система качения позволяет проводить полноценный сплошной контроль без

потери акустического контакта, а отсутствие непосредственного контакта акустических преобразователей с рельсами позволяет избежать изменения параметров контроля и реже прибегать к процессу калибровки. Такая система на основе колесных преобразователей была спроектирована и изготовлена фирмой ОАО «Радиоавионика».

При разработке колесной искательной системы решались следующие задачи:

- размещение большого количества акустических преобразователей внутри колесного преобразователя с исключением взаимного влияния и циклических переотражений внутри колесного преобразователя (рис. 4);
- подбор материала оболочки, обладающего хорошей износостойкостью, эластичностью и способностью пропускать у.з. колебания без существенного ослабления;

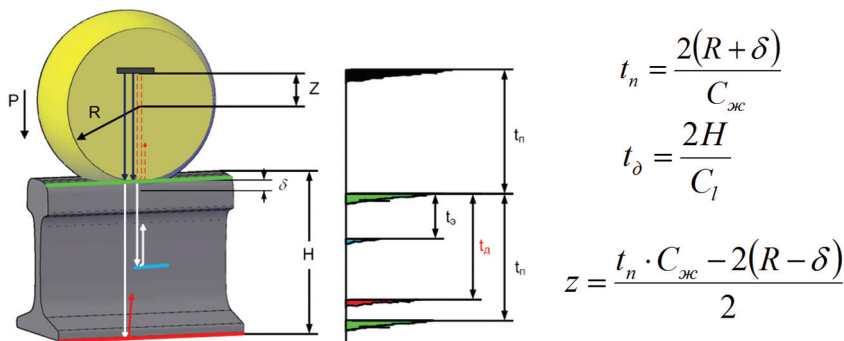


Рис. 4. Расчет положения акустических преобразователей внутри колесного преобразователя

- подбор иммерсионной жидкости, заполняющей внутреннюю полость колесного преобразователя, акустические свойства (рис. 5) которой способствовали стабильности углов ввода ультразвука в объект контроля при изменяющихся температурах окружающей среды (рис. 6). Как видно из графиков, в диапазоне температур окружающей среды от -20 до $+50$ °C при использовании призмы из органического стекла скорость продольной волны изменяется в значительных пределах: от 2820 до 2610 м/с, что при пересчете на углы ввода в сталь составляет более 4°. Для колесного преобразователя с выбранной иммерсионной жидкостью разброс углов ввода составил менее 2°;

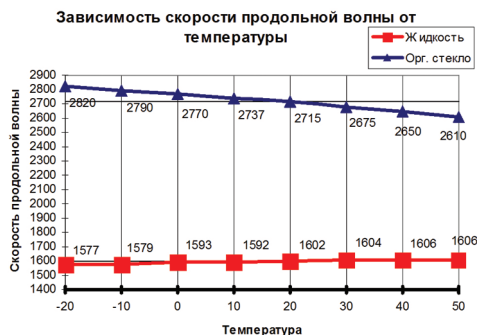


Рис. 5 Зависимости скоростей ультразвуковых продольных волн в органическом стекле и в иммерсионной жидкости от температуры

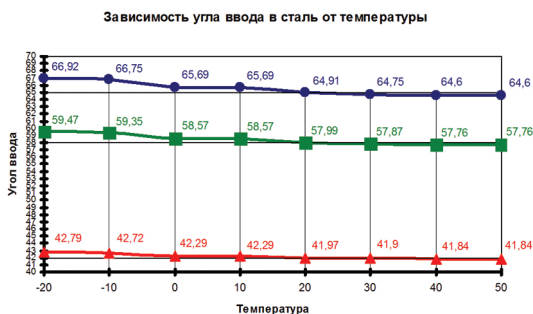


Рис. 6. Зависимость углов ввода в сталь от температуры для колесного преобразователя

- разработка системы точной юстировки искательной системы на объекте контроля (рис. 7);
- настройка искательной системы по эталонному образцу (рис. 8);
- создание высокопроизводительной электроники и программного обеспечения.



Рис. 7. Юстировка колесной искательной системы на объекте контроля

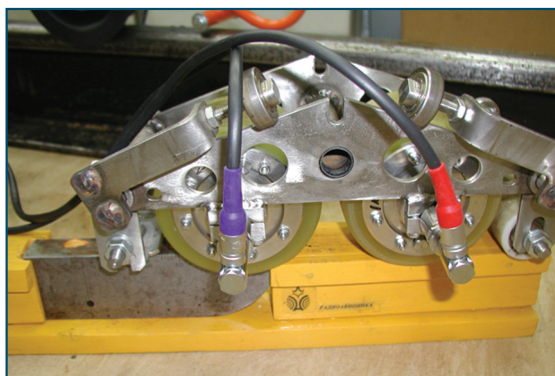


Рис. 8. Настройка колесной искательной системы по образцу СО-ЗР с помощью специального кондуктора

На основе разработанных искательных систем качения в ОАО «Радиоа-вионика» изготовлен двухниточный дефектоскоп для сплошного контроля рельсов с регистрацией сигналов со всех каналов во внутреннюю память прибора. В дефектоскопе реализована многоканальная схема прозвучива-ния (рис. 9), не уступающая по производительности схемам, используемым в дефектоскопах с искательными системами скольжения.

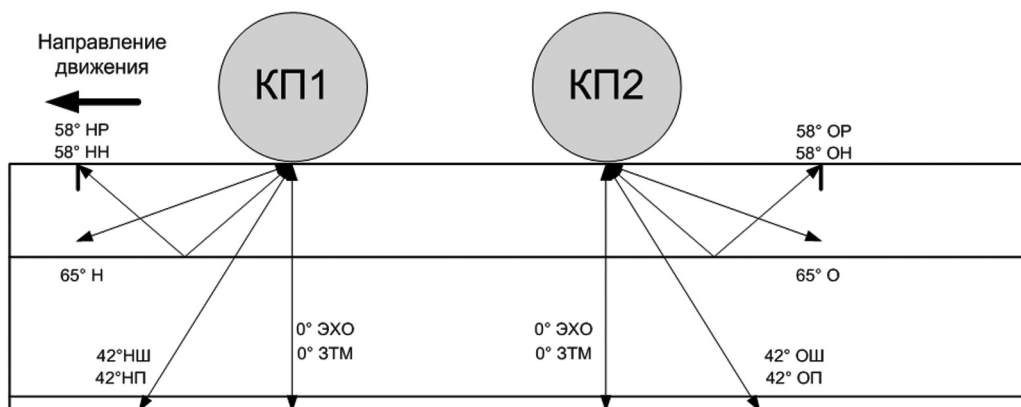


Рис. 9. Схема прозвучивания колесной искательной системы

Дефектоскоп успешно прошел опытную эксплуатацию, в ходе которой операторами были подтверждены преимущества искательных систем качения при контроле рельсов. В дополнение были отмечены удобное, ин-туитивно понятное и наглядное программное обеспечение дефектоскопа, позволяющее принимать решение о дефекте непосредственно в пути по экрану, на который выводится либо развертка типа В в реальном масштабе времени (рис. 10, а), либо мнемосхема (рис. 10, б) где схематически показана

схема прозвучивания и ход лучей, на которых красной точкой отмечается расположение отражателя в объекте контроля.

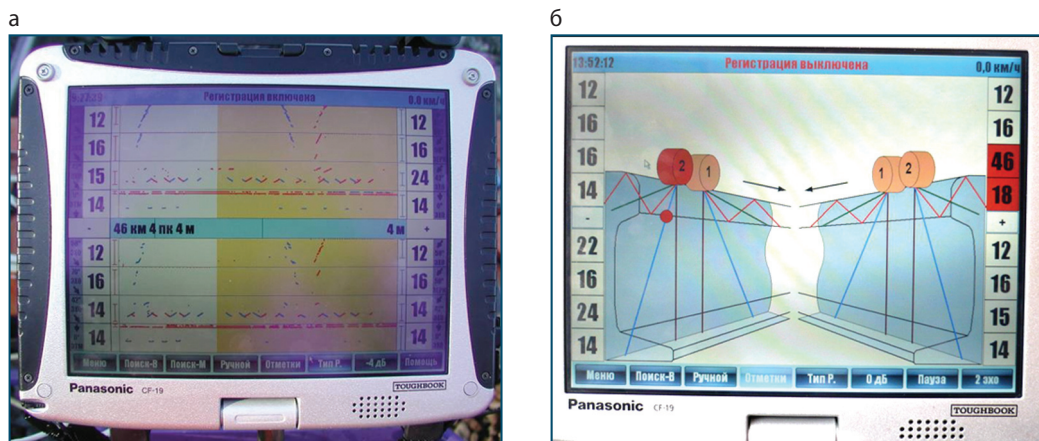


Рис. 10. Вид экрана дефектоскопа с колесными искательными системами:
а – режим ПОИСК-В, б – режим ПОИСК-М

Промышленный защищенный ноутбук, который использован в дефектоскопе в качестве вычислителя, позволяет не только отображать информацию при работе на объекте контроля, но также расшифровывать полученную информацию с помощью программы отображения (рис. 11).

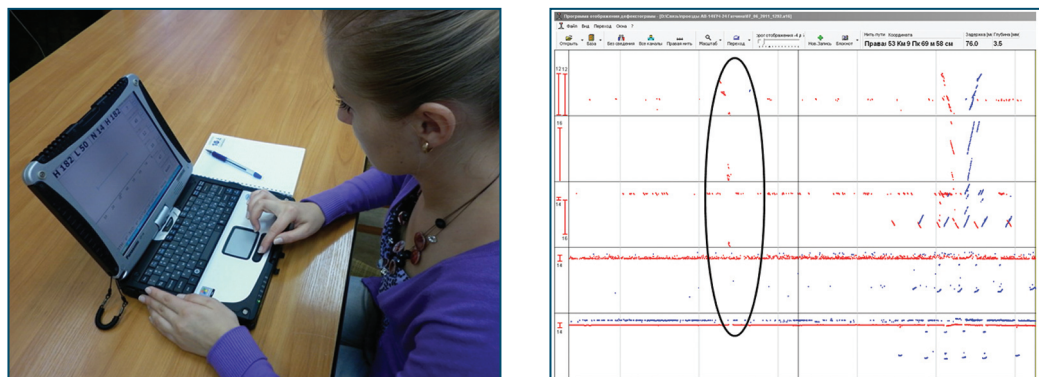


Рис. 11. Расшифровка результатов контроля в программе отображения

Хорошее прилегание оболочек колесных преобразователей к поверхности катания рельсов обеспечивает стабильный акустический контакт и наиболее полную дефектоскопическую запись даже на рельсах, покрытых коррозией.

Именно наличие акустического контакта является главным фактором, позволяющем судить об эффективности проведенного контроля работо-

способности искательной системы. Положительный опыт применения первых в России искательных систем качения при контроле железнодорожных рельсов можно использовать и при контроле других ответственных объектов как железнодорожной, так и других отраслей промышленности. К таким объектам контроля можно отнести протяженные стыковые, тавровые и угловые сварные соединения, сварные соединения трубопроводов и другие и металлоконструкции.

Несмотря на появление новых средств автоматизированного контроля сварных соединений, ручной контроль все еще остается преобладающим. Как правило, в практике в основном применяют способ поперечно-продольного, а также способ продольно-поперечного перемещения искателя. Использование колесного многоканального преобразователя может позволить перейти лишь к продольному перемещению вдоль сварного шва (рис.12), что позволит существенно (до 25 раз!) повысить производительность контроля.

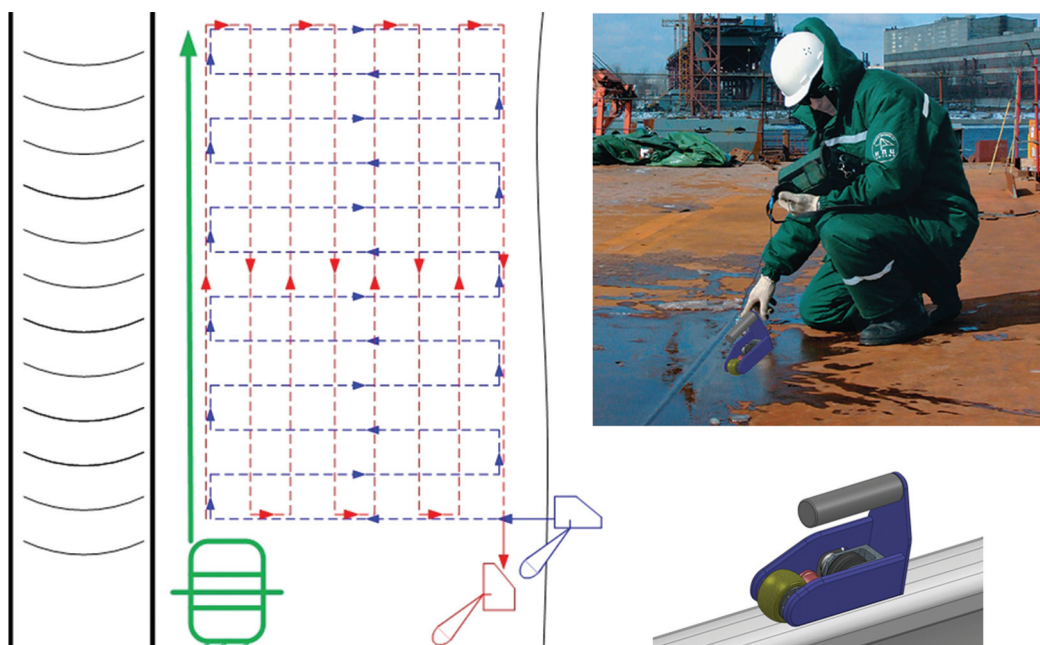
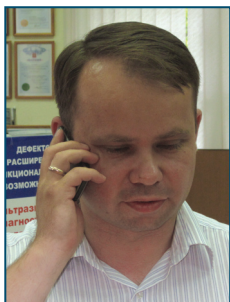


Рис.12. Продольное сканирование протяженного сварного шва многоканальным колесным преобразователем

Кроме того, многоканальная схема прозвучивания, реализованная в колесном преобразователе, позволит сканировать сварной шов под разными углами за один проход вдоль шва со сплошной регистрацией информации (рис. 13) с координатной привязкой. Причем результаты контроля можно сразу же посмотреть на экране компьютера, выдать заключение, а впоследствии еще и распечатать заключение о контроле.

ВОЗМОЖНОСТИ ДЕФЕКТОСКОПА-ШТАНГИ АВИКОН-15 С ПОЛНОЦЕННОЙ СХЕМОЙ ПРОЗВУЧИВАНИЯ



А.Б. КОЗЬЯКОВ

Заместитель
директора НТК СНК
по научной работе



Д.В. ФЕДОРЕНКО

Начальник отдела программного
обеспечения НТЦ РСУПСНК.
Дипломант Всероссийского конкурса
«Инженерное искусство молодых»

Рассмотрены особенности вторичного контроля рельсов и дефектоскопирования стрелочных переводов новым дефектоскопом-штангой АВИКОН-15

22-23 июня 2011 г. на Октябрьской ж.д. прошел приемочные испытания новый одониточный дефектоскоп АВИКОН-15, предназначенный для вторичного контроля отдельных сечений рельсов и проверки стрелочных переводов. Данный дефектоскоп выполнен в виде штанги (рис.1), на которой размещены его составные части:

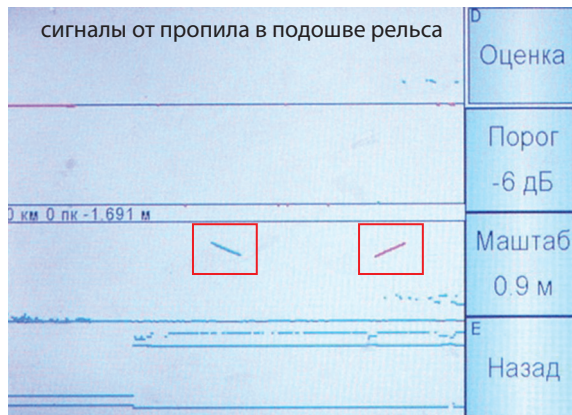


Рис.1. Одониточный дефектоскоп-штанга АВИКОН-15
а) внешний вид дефектоскопа; б) экран дефектоскопа.

- искательная система, включающая в себя два акустических блока;
- блок ультразвуковой многоканальный (возбуждение и прием высокочастотных колебаний);
- блок управления и индикации, выполненный на базе промышленного компьютера «Кулон»;
- бачок с контактирующей жидкостью, емкостью 2 литра.

Все перечисленные выше элементы размещены на штанге таким образом, чтобы при сканировании в процессе контроля нагрузка на руку оператора была минимальной, но при этом обеспечивался необходимый прижим акустических блоков к рельсу.

Дефектоскоп АВИКОН-15 реализует 11-канальную схему прозвучивания (рис.2), соответствующую по своим функциональным возможностям съемным дефектоскопам сплошного контроля. Для сравнения, схемы прозвучивания дефектоскопов АВИКОН-01МР и АВИКОН-11 имеют по 10 каналов, а в РДМ-2 реализовано 6 каналов на каждую нить.

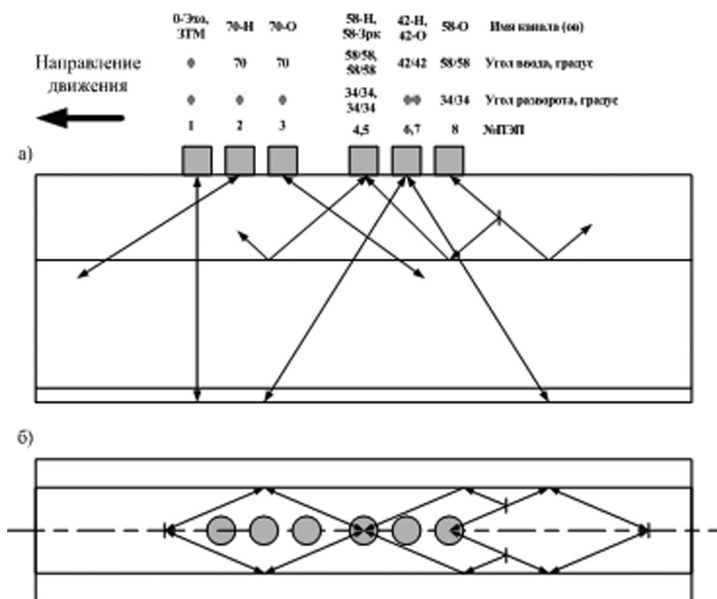


Рис.2. Схема прозвучивания дефектоскопа АВИКОН-15

Отображение сигналов контроля в дефектоскопе производится как в виде традиционной звуковой индикации, так и в виде развертки типа В в реальном времени на цветном дисплее. Предусмотрено также отображение сигналов в виде развертки типа В по любому из выбранных каналов. Дополнительно в дефектоскопе реализована регистрация сигналов и информации о режимах и параметрах сканирования для последующего анализа.

Одним из главных достоинств АВИКОН-15 является то, что при вторичном контроле данный дефектоскоп позволяет отображать сигналы в том же виде, что и при сплошном контроле (рис.3).

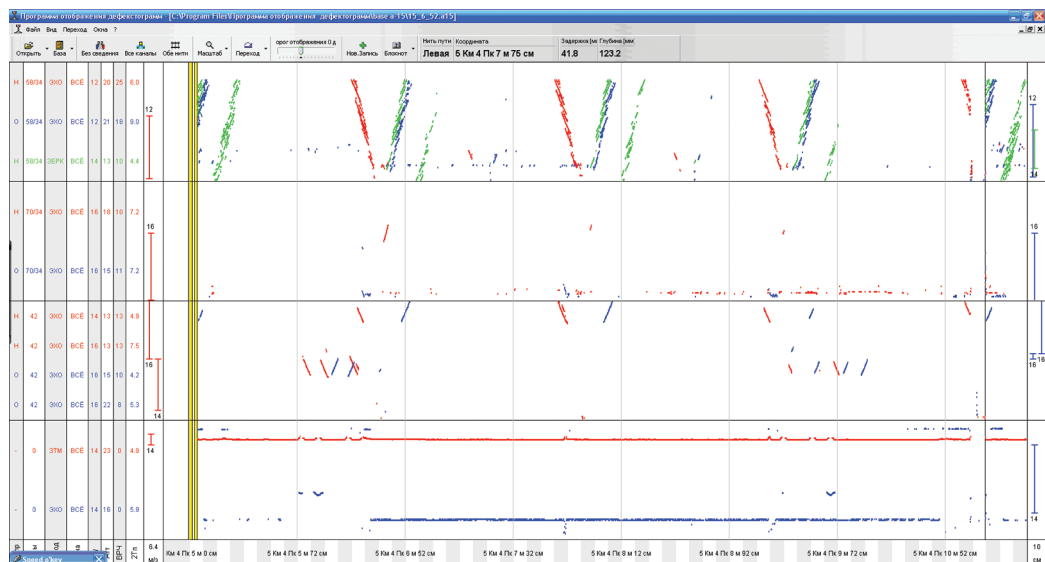


Рис.3. Запись контрольного тупика ПЧ-24 Октябрьской ж.д. дефектоскопом АВИКОН-15

Идентичность формы представления сигналов сплошного и вторичного контроля делает возможным их сопоставление. Это особенно актуально при поиске требуемого участка рельса, подлежащего перепроверке в пути, что позволяет минимизировать вероятность пропуска опасного дефекта из-за ошибки оператора вторичного контроля.

При проведении вторичного контроля дефектоскопом АВИКОН-15 в ряде случаев имеется возможность принятия решения о дефектности того или иного сечения рельса без проведения ручного контроля непосредственно в процессе анализа дефектограммы на основе анализа параметров и совокупности зафиксированных пачек сигналов. Запись сигналов в виде развертки типа В дает возможность формирования протокола вторичного контроля на каждый продефектоскопированный участок рельса с последующей передачей его в специальную базу данных.

С 1 марта 2010 г. в ОАО «РЖД» введен в действие стандарт отраслевой СТО 01.11.007-2009 «Система неразрушающего контроля в ОАО «РЖД». Элементы стрелочных переводов. Технические требования к контролю». В соответствии с указанным документом для проверки стрелочных переводов необходимо использовать дефектоскопы, отображающие сигналы в виде развертки типов А и В, и обеспечивать их регистрацию.

В настоящее время дефектоскопирование элементов стрелочных переводов производится посредством дефектоскопов-индикаторов типа РДМ-1 и РДМ-1М с трех- и пяти канальной схемой прозвучивания соответственно. В упомянутых приборах отсутствует какая-либо регистрация сигналов, а индикация наличия возможных дефектов производится только посредством звука и подсвечиванием показаний аттенюатора. Очевидно, что такое средство контроля в значительной степени устарело и не соответствует требованиям действующего стандарта СТО 01.11.007-2009.

В то же время, функциональные возможности дефектоскопа АВИКОН-15 позволяют его использовать для контроля стрелочных переводов. При этом основной технологической особенностью АВИКОН-15 является то, что он позволяет производить поэлементную регистрацию каждого стрелочного перевода:

- рамных рельсов и соединительных рельсов;
- усовиков (только в рельсовой части переднего вылета крестовины до начала литого сердечника);
- остяков (от корня до места, где плоский кант головки не менее 18 мм и параллелен подошве).

Фрагмент дефектограммы рамного рельса стрелочного перевода приведен на рис. 4. Для повышения надежности контроля и технологической дисциплины обслуживающего персонала, выполняющего контроль стрелочных переводов, целесообразно протоколы контроля, сформированные АВИКОН-15, передавать на стационарный ПК участка дефектоскопии с последующей их расшифровкой.

Таким образом, применение дефектоскопов АВИКОН-15 для вторичного контроля и дефектоскопии стрелочных переводов позволит поднять уровень указанных технологических операций до уровня сплошного контроля рельсов съемными и мобильными средствами, оснащенными системами регистрации.

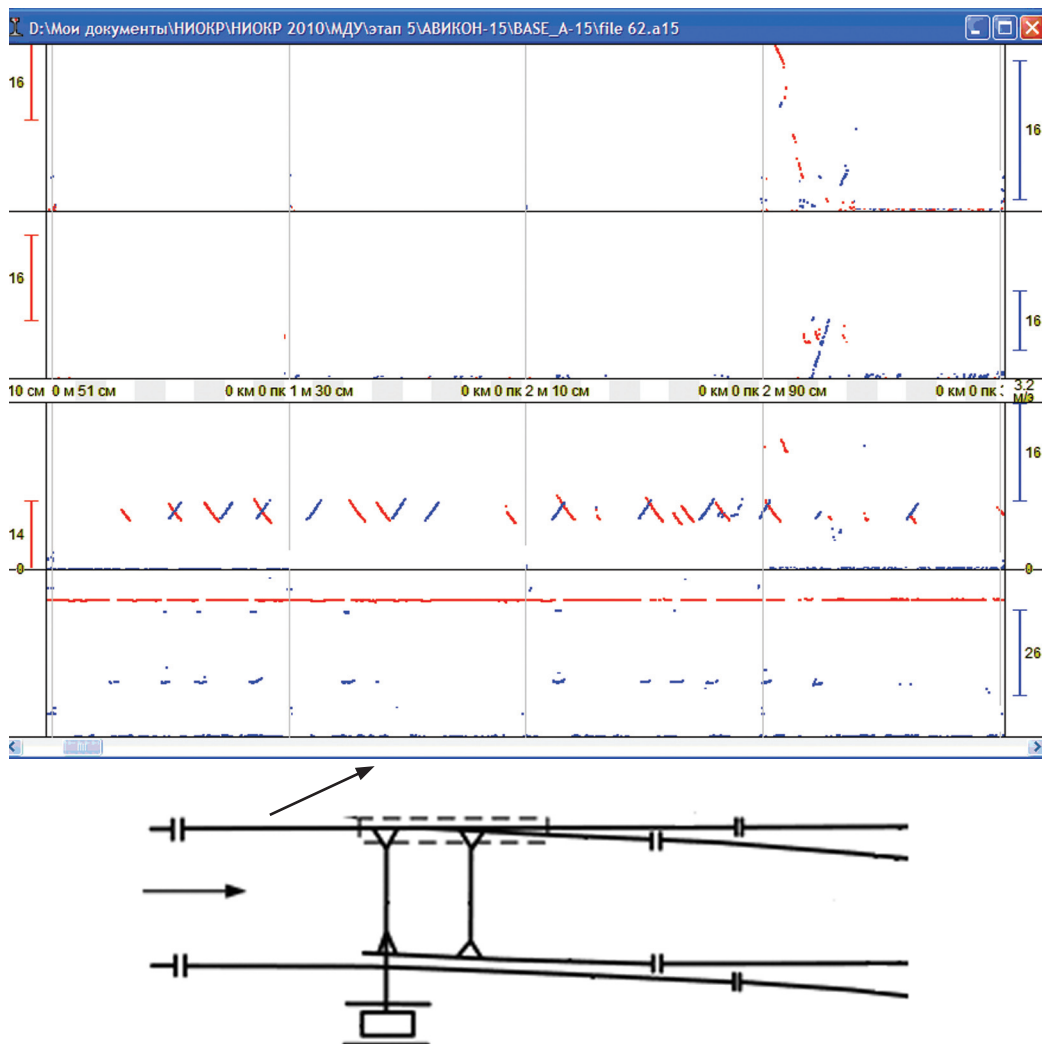


Рис. 4. Фрагмент дефектограммы рамного рельса при контроле посредством АВИКОН-15

Литература

1. Стандарт отраслевой СТО 01.11.007-2009 «Система неразрушающего контроля в ОАО «РЖД». Элементы стрелочных переводов. Технические требования к контролю».
2. Технология применения средств неразрушающего контроля рельсов на малодеятельных участках и станционных путях.

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕФЕКТОВ — ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ (АВИКОН-17)



В.В. МОСЯГИН

Заместитель директора научно-технического центра разработки съемных и переносных средств неразрушающего контроля.

Дипломант Всероссийского конкурса «Инженерное искусство молодых – 2004».

Рассмотрен новый дефектоскоп для оценки реальных размеров дефектов в головке рельсов, принцип его построения и результаты апробации на моделях и реальных дефектах.

Мониторинг состояния рельсового пути является важной задачей для обеспечения требуемого уровня безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Попытки анализировать рост дефектов по получаемой в процессе контроля дефектограмме [1] пока не привели к желаемому результату. Отметим, что ОАО «РЖД» в течение последних лет проводит политику перехода к ресурсосберегающим технологиям.

При ультразвуковом контроле рельсов главным препятствием к мониторингу развития дефектов в рельсах является отсутствие данных о размерах обнаруженного дефекта, поскольку измеряемой характеристикой дефекта являются условные размеры дефектов. В зависимости от используемых параметров контроля условные размеры, как правило, могут в несколько раз превышать реальные размеры дефектов. Это связано, в первую очередь, с раскрывом диаграммы направленности преобразователей, работающих по эхо-методу, которая дает протяженную пачку эхо-импульсов даже при наличии точечного отражателя в рельсе.

Практика ультразвукового контроля показывает, что наиболее уязвимой частью рельса является головка, в то же время сигналы, получаемые традиционными способами, часто не могут быть правильно интерпретированы оператором. Например, сигналы от имеющегося неопасного расслоения (глубиной до 8 мм) могут быть ошибочно восприняты как сигналы от опасной поперечной трещины, что приведет к перебраковке рельса.

В связи с этим поставлена задача разработки принципа и построения прибора для получения геометрических параметров дефекта, близких к реальным размерам, в области головки рельса. Отметим, что попытки визуализировать сечение рельсов не раз предпринимались, например в [2], однако пока не получили практического применения в рельсовой дефектоскопии из-за сложности аппаратуры и длительного времени обработки.

Для визуализации сечения головки рельса, в отличие от используемых в предшествующих работах эхо-методов, в разработанном дефектоскопе принят классический метод прохождения.

В технической литературе при рассмотрении метода прохождения упоминается один из его недостатков, связанных с невозможностью определения координат залегания (глубины) обнаруженных дефектов. При этом в [3] указана возможность определения координат при зеркально-теневом методе при наклонном вводе у.з. колебаний. При построении данного дефектоскопа этот существенный недостаток был полностью исключен за счет использования принципов, указанных в [4].

При сканировании по боковым граням головки рельса остро встала задача обеспечения акустического контакта между преобразователями и рельсом. В связи с этим проведена работа с научными институтами по созданию специальных химических материалов, обеспечивающих акустический контакт вместо контактирующей жидкости. Способ обеспечения контакта с помощью синтезированных веществ приведен в [5].

Для реализации принципа требуется точное знание координат преобразователей как по высоте головки рельса, так и по длине рельса. Общая функциональная схема дефектоскопа приведена на рис. 1.

В качестве измерительного механизма выступает сканирующее устройство, устанавливаемое в процессе контроля на головку рельса. С помощью

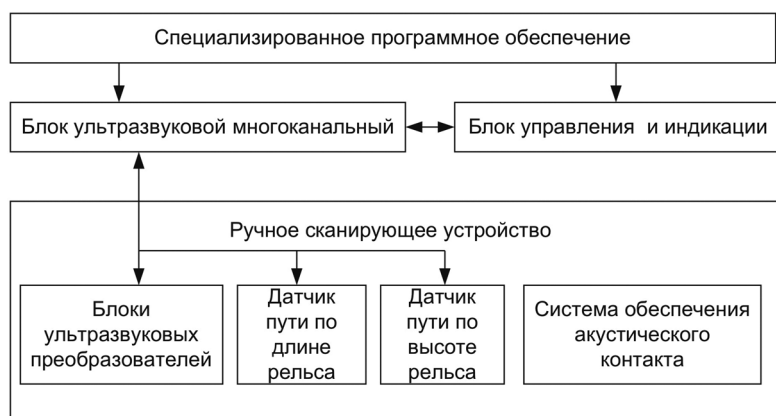


Рис. 1 – Функциональная схема дефектоскопа АВИКОН-17

пьезоэлектрических преобразователей осуществляется ввод и прием ультразвуковых колебаний в головку рельса с боковых граней (рис. 2), что позволяет проводить измерения даже при наличии поверхностных повреждений и расслоений на поверхности катания головки рельса и в приповерхностном слое. При этом накладываются ограничения по исследованию головки рель-

са: озвучивание возможно только от верхней до нижней выкружки головки рельса, что составляет от 9 до 36 мм глубины от поверхности катания.

В результате пятилетней работы в ОАО «Радиоавионика» при участии автора создан опытный образец дефектоскопа АВИКОН-17. Общий вид дефектоскопа приведен на рис. 3.

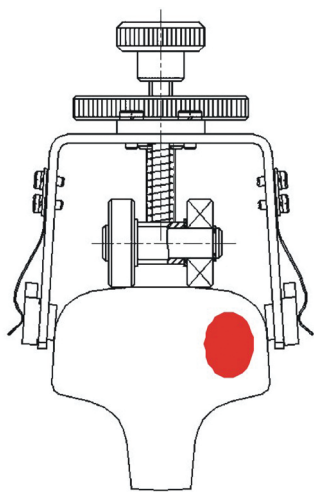


Рис. 2 – Сканирование головки рельса с боковых граней

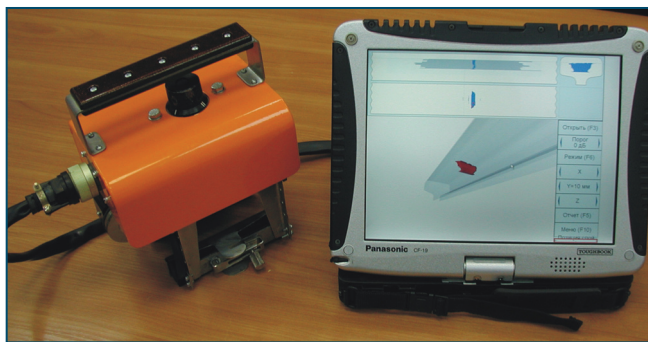


Рис.3 – Вид сканирующего устройства и блока управления и индикации

Принцип, положенный в основу дефектоскопа АВИКОН-17, апробировался на моделях дефектов с известными размерами, на реальных дефектах в головке рельса.

Для оценки метрологической точности измерений размеров дефекта разработан и изготовлен тест-образец, содержащий два цилиндрических отверстия: горизонтальное и вертикальное. Рисунок тест-образца и результат его контроля приведены на рис. 4.

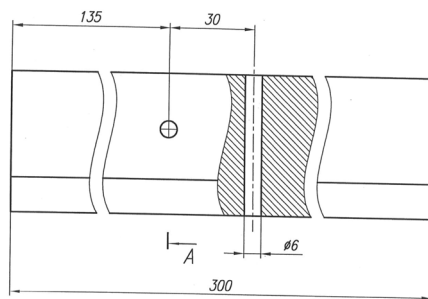
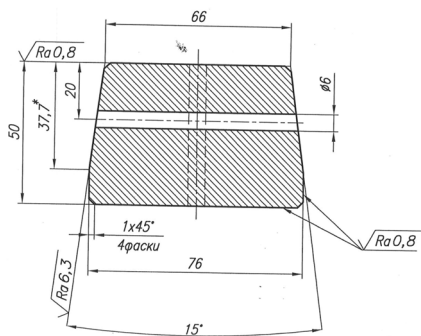


Рис. 4а – Результат контроля тест-образца. Чертеж тест-образца

Работа по измерению размеров моделей дефектов на стандартизированных тупиках дистанций пути и дорожной лаборатории дефектоскопии, а также реальных дефектов на тупике цеха пути ОАО «ВНИИЖТ» показала

достаточную точность результатов измерений. На рис. 5 приведены результаты измерения и последующего долома рельса с дефектом в головке рельса.

Отчет о контроле №1 от 01.07.2011

Имя файла: 230611_007_00288.a17

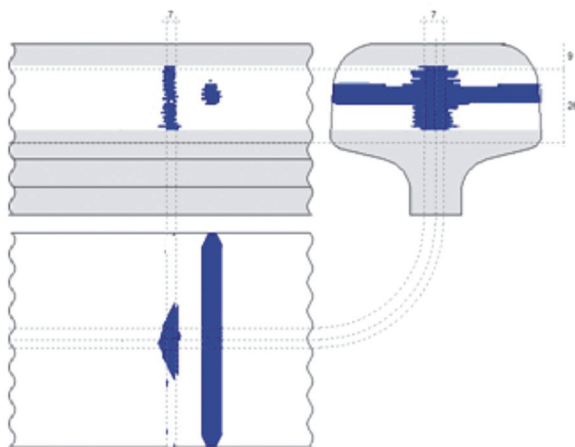
Км: 12 ПК: 34 м: 567 путь: 1 нить: 0

Перегон: Нет

Дата контроля: 01.07.2011 Время начала контроля: 16 ч. 01 мин. 11 сек.

Продолжительность сканирования: 181234 сек.

Дефектоскоп: АВИКОН-17. БУМ №288 БУИ №1



Измеренные параметры:

- Измеренная площадь дефекта в процентах от площади поперечного сечения головки: 5 %
- Глубина залегания верхней кромки не менее: 9 мм
- Измеренная высота дефекта: 26 мм
- Расстояние от кромки дефекта до грани головки: 33 мм
- Размер дефекта в поперечном сечении головки: 7 мм
- Расстояние от кромки дефекта до продольной оси рельса: заходит за ось
- Размер дефекта по длине рельса: 7 мм

Заключение:

Оператор: Мосягин В.В. _____ 01.07.2011

Рис. 4б– Результат контроля тест-образца. Результаты контроля



Рис. 4в – Результат контроля тест-образца. 3D - изображение

На успешно прошедших приемочных испытаниях дефектоскопа АВИКОН-17 комиссией ОАО «РЖД» было предложено проверить два рельса. Маркировка рельсов, изъятых по действующей технологии контроля, указывала

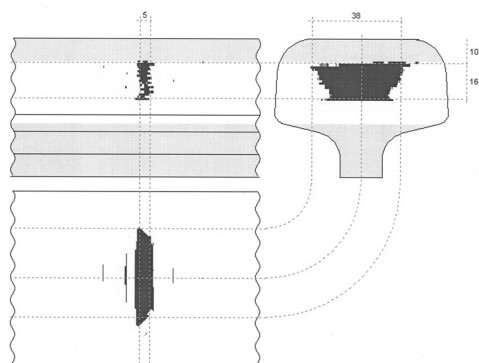



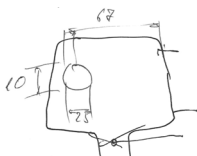
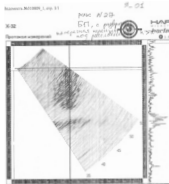
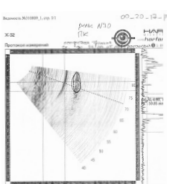



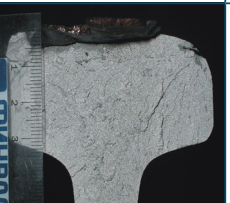
Рис. 5 – Результат измерения (а) и последующего долома (б) рельса с дефектом в головке рельса

на наличие в них поперечных трещин (коды 21 и 24). Проведенные оператором измерения с помощью ручных преобразователей по типовой методике показали на подозрение о наличии в рельсах поперечных трещин большого размера (табл. 1, строка 1). Исследования сечений с помощью дефектоскопа Х-32 с фазированными решетками (табл. 1, строка 2) также показали пачки сигналов, по которым оператор дал заключение о наличии опасных поперечных трещин. Однако результаты обследования дефектоскопом АВИКОН-17 (табл. 1, строка 3) и последующий долом рельсов на прессе (табл. 1, строка 4) указали на отсутствие поперечных трещин в головке рельса. Все принятые эхо-сигналы при ручных измерениях по типовой методике и с помощью дефектоскопа с фазированной решеткой Х-32 оказались многократными переотражениями вследствие наличия неопасных горизонтальных расслоений глубиной до 5мм в одном рельсе и до 8 мм в другом рельсе.

Подводя итоги, можно говорить о появлении нового инструмента контроля головки рельса, с помощью которого возможно точное определение наличия поперечных трещин в головке рельса или уверенно судить об их отсутствии. Появляющиеся при этом возможности мониторинга дефектных сечений, а также возможность отслеживании динамики развития дефектов при различных нагрузках и условиях создают предпосылки в будущем перейти на более эффективные технологии контроля рельсов и нормы текущего содержания пути, а в целом снизить эксплуатационные расходы при сохранении требуемого уровня безопасности перевозок.

Дальнейшим развитием данного дефектоскопа АВИКОН-17 может стать уменьшение неконтролируемых зон по глубине рельса и работа при большем боковом износе головки рельса.

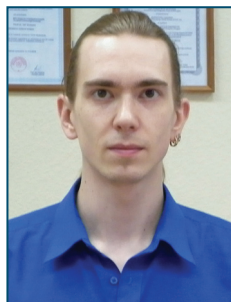
Таблица 1 – Результаты контроля двух рельсов с дефектами

№ п/п	Тип средства контроля	Результат контроля		Заключение оператора о наличии поперечной трещины	
		Рельс № 27	Рельс № 30	Рельс № 27	Рельс № 30
1	Ручной контроль по типовой методике с углом ввода 50 градусов, $K_u=24$ дБ			Есть, размеры 12x40 мм, глубина верхней кромки 10 мм	Есть, размеры 10x25 мм
2	Ручной контроль прибором Х-32 (с фазированной решеткой)			Есть, глубина до 15 мм	Есть, глубина до 20 мм
3	Дефектоскоп АВИКОН-17, режим сканирования сечения			На глубине от 9 до 36 мм поперечной трещины НЕТ	На глубине от 9 до 36 мм поперечной трещины НЕТ
4	Принудительный долот рельса на прессе			НЕТ Имеется горизонтальное расслоение на глубине до 8 мм	НЕТ Имеется горизонтальное расслоение на глубине до 5 мм

Литература

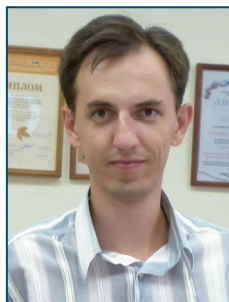
1. А.А. Марков, Е.А. Кузнецова. К Мониторингу рельсов по результатам дефектоскопии. Путь и путевое хозяйство.
2. Е.Г. Базулин. Получение изображений дефектов в перьях подошвы рельсов методом SAFT с учётом многократного отражения ультразвукового импульса от границ объекта контроля, http://www.echoplus.ru/arch/df2_2010_rels.pdf, 2011 г.
3. Марков А.А. Методы ультразвуковой дефектоскопии и функциональные решения аппаратуры при непрерывном излучении упругих колебаний: Диссертация кандидата технических наук. -Л.: СЗПИ. 1990. – 232 с.
4. А.А. Марков, В.В. Мосягин, М.В. Кескинов. Способ обнаружения дефектов в головке рельса. Свидетельство на изобретение Российской Федерации № 2340495 от 16.04.2008г.5. А.А. Марков, В.В. Мосягин, В.Е. Разорвин. Ультразвуковод. Свидетельство на полезную модель № 2011100881/28.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ



Н.А. ВОРОНИН

*Старший инженер НТК
СНК*



Д.А. ДЕРЮГИН

*Старший инженер-электроник НТК СНК.
Дипломант Всероссийского конкурса
«Инженерное искусство молодых-2008»*

Рассмотрены перспективные возможности реализации ультразвуковых дефектоскопов с использованием новейшей элементной базы и принципов современного проектирования радиоэлектронных средств. Излагаются новые взгляды на проектирование дефектоскопических ультразвуковых приборов.

Дефектоскопия не стоит на месте. Поскольку это не просто наука, но и сфера деятельности, происходит постоянное совершенствование её инструментов – дефектоскопических приборов. Речь в данной статье пойдет о приборах рельсовой дефектоскопии, как наиболее близких авторам. На данный момент для проверки рельсов чаще других используют дефектоскопы, построенные на принципе ввода ультразвуковых колебаний в контролируемое изделие, так называемые ультразвуковые дефектоскопы. Всего за несколько десятилетий эти устройства от простейших телег со звуковой индикацией превратились в мощнейшие комплексы неразрушающего ультразвукового контроля. Регистрация принимаемых сигналов, их графическое отображение в виде «А» и «В» разверток на дисплее прибора, большое количество каналов ультразвукового контроля – эти и другие признаки присущи приборам, с которыми работают сегодня, таким как АВИКОН-11, МИГ-УКС, РДМ-22 и др.

Но какие приборы выйдут на линии завтра? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть требования, предъявляемые к электронике ультразвукового дефектоскопа:

- работа в жестких климатических условиях. Это одно из важнейших требований. Контроль ведется и в сорокаградусную жару, и в сорокаградусный мороз при любых погодных условиях. Поэтому все компоненты прибора должны надежно работать в этих условиях;
- высокая надежность прибора. Чем выше надежность, тем меньше времени прибор находится в ремонте, уменьшается время простоя;
- минимальное энергопотребление, необходимое для продолжительной автономной работы;
- высокая достоверность контроля. Это требование достигается не только аппаратной составляющей дефектоскопа, но и его программной частью;
- малые габариты и вес прибора. Это относится в первую очередь к съёмным одноканальным и двухканальным приборам;
- малое время разработки.

Для того чтобы выпускать современные, надежные, удобные и, насколько это возможно, простые для пользователя приборы, необходимо постоянно совершенствовать применяемые в дефектоскопах решения, модернизировать элементную базу и программное обеспечение этих приборов. Производители электронных компонентов постоянно обновляют линейку своей продукции и предлагают сейчас миниатюрные, со значительно увеличенными возможностями элементы, взамен выпускавшихся ранее. Те решения, для реализации которых ранее требовались несколько интегральных микросхем и дополнительных компонентов и, в свою очередь, значительная площадь на печатной плате, сейчас нередко могут быть реализованы с использованием одной микросхемы. Возможность реализации такого рода решений значительно повышает надежность модуля и всего дефектоскопа в целом, так как наибольший вклад в надежность вносит уменьшение необходимых для монтажа компонентов, а также количества и длины печатных проводников.

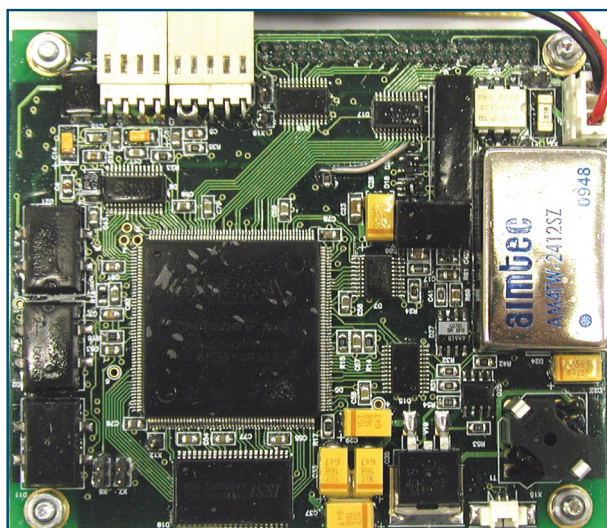
В качестве примера перспективного решения такого рода стоит выделить возможность аппаратно-программной реализации фильтрации радиосигнала с последующим детектированием, на данный момент обычно реализуемой без использования программного обеспечения. Полученные после процедуры зондирования отраженные сигналы с усилителя поступают на аппаратно-реализованный фильтр. Фильтр имеет ограниченную полосу пропускания и настроен на фиксированную резонансную частоту. Данный факт вводит жесткие ограничения на область использования конкретного изделия.

Решения, применяемые специалистами ОАО «Радиоавионика», основанные на использовании современного семейства интегральных микросхем программируемой логики (ПЛИС), позволяют на программном уровне

реализовать перестраиваемые в реальном времени фильтры с изменяемыми значениями полосы пропускания и резонансной частоты. Встроенные в ПЛИС Системы ФАПЧ (фазовая автоматическая подстройка частоты) позволяют значительно увеличить внутреннюю тактовую частоту микросхемы при относительно небольшой входной тактовой частоте, что в свою очередь позволяет реализовать фильтр со значительно большим значением добротности при сравнительно небольшом количестве используемых ресурсов микросхемы ПЛИС. А программная реализация детектора полученного после фильтрации радиосигнала позволяет сразу же подключать системы автоматизированного сигнализатора дефекта, формирования «А» и «В»-разверток.

Энергопотребление модуля при этом не увеличивается. Несмотря на то, что задействуется больше логических вентилях и система увеличения внутренней частоты, пропадает надобность в некоторых микросхемах и элементах, используемых ранее. Ещё стоит отметить, что от поколения к поколению снижается энергопотребление микросхем ПЛИС. А область применения портативного ультразвукового дефектоскопа, в котором будут реализованы данные функции, не станет ограничиваться только рельсовой дефектоскопией.

С точки зрения лабораторий железных дорог и других ремонтных организаций, в обязанности которых входит ремонт и поверка используемых дефектоскопических средств, решения такого рода значительно упрощают работу, так как их сотрудникам необходимо будет лишь проследить поступление сигнала на микросхему ПЛИС. Остальное всё выполнит программа. Отпадает необходимость проверять параметры входного тракта, которых немало.



Малогабаритный модуль обработки информации в дефектоскопе АВИКОН-15

Другим ярким перспективным примером в развитии ультразвуковой дефектоскопии является то, что вместо устаревших генераторов зондирующего импульса (ГЗИ), включающих в себя один-два трансформатора, массивные полевые транзисторы, сопутствующие «обвязочные» элементы и микросхемы и занимающих значительные площади на печатной плате, появилась возможность реализовать необходимое количество ультразвуковых каналов с использованием специальных транзисторных сборок и высоковольтных мультиплексоров. Все компоненты специально разработаны для использования в ультразвуковых приборах, имеют идеально подходящие характеристики и параметры. Тем более, что производителям этих микросхем за последние два года удалось расширить температурный диапазон их использования до минус 40°C. Тогда, внедряя в схему импульсный источник с выходным напряжением ± 100 вольт, высоковольтный аналоговый ключ и специализированную транзисторную сборку, появляется возможность реализовать до 16 ультразвуковых каналов на площади, где сейчас помещается только 4-5 генераторов. Из схемы исключаются не только дорогостоящие и трудоемкие в изготовлении трансформаторы, но и ряд других «периферийных» компонентов.

Важной особенностью современного дефектоскопа сегодня является раздельная организация блоков обработки информации и ее регистрации, а также отображения. Такая архитектура совместно с возможностью изменения только лишь программного обеспечения блоков позволяет производить необходимое заимствование готовых модулей, входящих в состав блоков, или даже целых блоков в разных изделиях. Данная мера позволяет ускорить процесс разработки новых изделий, уменьшает объем конструкторской документации и значительно облегчает работу ремонтным организациям и, в свою очередь, значительно сокращает время на перестроение готового изделия под требования конкретных задач.

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ И ИНДИКАЦИИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ



А.Д. ШПАГИН

Инженер-программист

Рассматривается современный подход к построению блоков управления и индикации ультразвуковых дефектоскопов для контроля рельсов. Выведены критерии выбора вычислителя, подходящего для построения устройств управления и индикации, а также применяемые интерфейсы передачи данных.

В настоящее время среди съемных средств неразрушающего контроля рельсов наиболее распространены дефектоскопные тележки. Помимо металлического конструктива самой тележки, дефектоскоп имеет в своем составе акустические блоки, которые непосредственно осуществляют прозвучивание рельсов, а также один или несколько электронных блоков, которые выполняют следующие основные функции:

- генерируют зондирующие импульсы и передают их в блоки резонаторов (БР);
- принимают ответные сигналы от блоков резонаторов;
- производят обработку и индицируют полученные сигналы на экране дефектоскопа;
- регистрируют полученные сигналы с привязкой к путевой координате;
- предоставляют оператору интерфейс для управления дефектоскопом.

Чаще всего дефектоскопы имеют один электронный блок, и он выполняет все перечисленные выше функции (рис. 1).

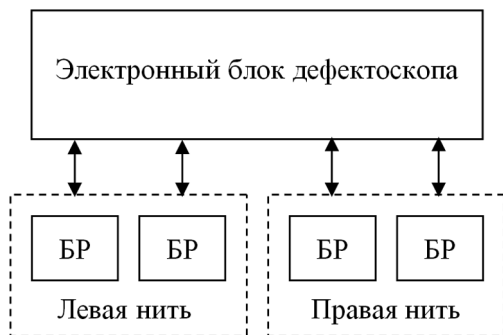


Рис. 1. Функциональная схема дефектоскопа с одним электронным блоком

Следует отметить, что генерация зондирующих импульсов, прием и оцифровка ответных сигналов хоть и являются достаточно сложной задачей с точки зрения разработки и дальнейшей работы дефектоскопа, однако, на сегодняшний день, часть прибора, выполняющая данные функции, уже достаточно хорошо отлажена и не нуждается в значительных и частых переработках.

Кроме того, при работе с прибором оператор дефектоскопа непосредственно взаимодействует только с функциями управления и отображения информации, следовательно, на работу этой части дефектоскопа оказывается направлен основной поток нареканий и предложений по совершенствованию со стороны пользователей. Разработчики также видят необходимость введения новых возможностей и расширения набора уже имеющихся функций.

Таким образом, если будет принято решение о доработке системы управления дефектоскопом или системы отображения информации, то переработке подвергнется весь электронный блок и дальнейшее введение его в эксплуатацию потребует полного отказа от предыдущей, недоработанной версии прибора.

При разработке рельсового ультразвукового дефектоскопа “АВИКОН-11” был применен новый, во многом инновационный подход к проектированию электронных блоков. Он заключается в том, что электронная часть дефектоскопа состоит не из одного, а из двух блоков. Первый блок — блок ультразвуковой многоканальный, сокращенно БУМ. Он выполняет часть работы прибора, связанную с взаимодействием с блоками резонаторов, а также осуществляет оцифровку сигналов. Второй блок — блок управления и индикации, сокращенно БУИ, служит для регистрации данных контроля, отображения сигналов и служебной информации, а также для управления прибором (рис. 2).

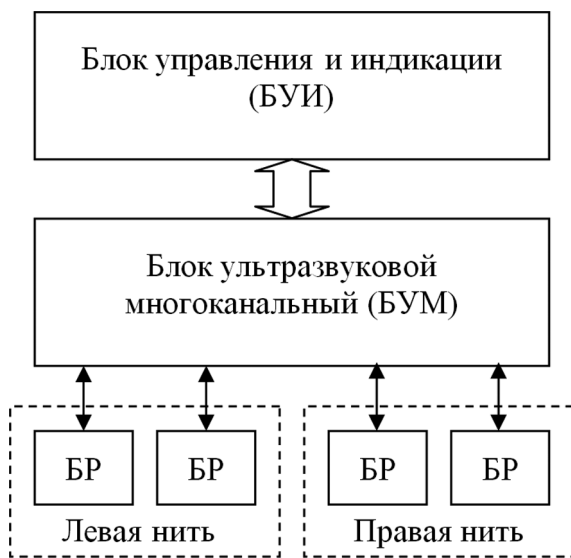


Рис. 2. Функциональная схема дефектоскопа с двумя электронными блоками

Как отмечалось выше, наибольшим изменениям и доработкам подвержены системы управления и отображения информации. Теперь они сосредоточены в блоке БУИ, и при соблюдении определенной унификации блок БУИ может быть доработан и заменен на дефектоскопе, без замены БУМ.

Стоит отметить, что данные от БУМ поступают в БУИ в цифровом виде. Это дает еще больше возможностей для развития БУИ, так как решающую роль в работе прибора играет программное обеспечение, которое гораздо гибче и быстрее в разработке, чем аппаратная составляющая блока.

Более того, помимо специально сконструированных блоков БУИ в качестве устройств управления и индикации стало возможным применение IBM-совместимых компьютеров. По сравнению с БУИ собственной конструкции БУИ, выполненные на покупных вычислителях имеют следующие преимущества:

- выше вычислительная мощность;
- выше объем памяти;
- цветной экран, с большим размером и большим разрешением;
- совместимость со стандартными интерфейсами передачи данных;
- снижены или отсутствуют затраты на разработку или доработку аппаратной части изделия, разрабатывается лишь программное обеспечение.

Таким образом, при использовании в качестве БУИ компьютера возможно достаточно малыми затратами предоставить пользователю следующие функции, которые в БУИ собственной конструкции были невозможны или крайне сложно реализуемы:

- использование системы GPS;
- гибкое изменение схемы прозвучивания прибора, в том числе изменение числа каналов;
- высококачественное, цветное отображение данных контроля;
- перенос данных между дефектоскопом и настольным ПК при помощи стандартного flash-накопителя;
- возможность фото- и видеорегистрации помимо регистрации основных данных контроля;
- элементы автоматизированного поиска дефектоподобных отражателей непосредственно в процессе контроля;
- оперативное обновление программного обеспечения.

В итоге, создание БУИ сводится к выбору подходящего готового вычислителя и разработки для него программного обеспечения. А при условии, что архитектура платформы, на которой построен вычислитель, остается постоянной, то программное обеспечение не нуждается в серьезных переработках и корректировках при переходе от одного вычислителя к другому.

При разработке новых дефектоскопов применяются следующие типы готовых вычислительных систем:

- персональные ПК для организации постов дефектоскопии на рельсосварочных и других промышленных предприятиях;
- планшетные и карманные ПК для съемных средств дефектоскопии;
- встраиваемые вычислительные системы, также для съемных средств дефектоскопии.

Планшетные компьютеры удобны в применении на дефектоскопных тележках, в частности, новейший дефектоскоп “АВИКОН-14” с колесной поисковой системой имеет в качестве блока управления и индикации защищенный планшетный компьютер (рис. 3).

Как уже отмечалось, используемый вычислитель может быть легко заменен другим вычислителем с аналогичной архитектурой.

Рассмотрим основные режимы работы дефектоскопа “АВИКОН-14”. На рис. 4 представлен режим сплошного контроля “ПОИСК-В”. Эхо-сигналы отображаются двумя цветами: красным и синим в зависимости от направления ввода ультразвука, желтым подсвечиваются зоны движения назад, кроме того, посередине проходит координатная лента, показывающая текущую путьскую координату и масштаб отображения В-развертки.



Рис. 3. Блок управления и индикации на основе промышленного ПК.

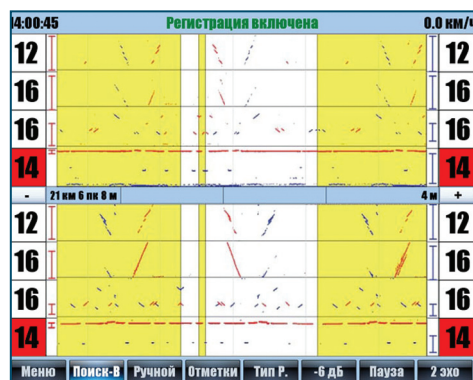


Рис. 4. Режим “ПОИСК-В” дефектоскопа “АВИКОН-14”.

Режим “ОЦЕНКА” прибора показан на рис. 5 (слева). В центре экрана отображаются сигналы в виде развертки типа А, под которой сигналы по этому же каналу представлены на развертке типа В.

Интерфейс пользователя на примере режима ввода отметки оператора, в частности, отметке о привязке координаты показан на рис. 5 (справа). В то же время выбор планшетного компьютера является непростой задачей. Приходится учитывать огромное количество факторов и представить, как будет вести себя тот или иной компьютер в условиях железнодорожного пути. Одним из недостатков готовых компьютеров является невозможность замены отдельных компонентов системы, если они не удовлетворяют каким-либо требованиям. В этом случае целесообразно применение встраиваемых вычислительных систем. При этом, как правило, обеспечивается меньшее энергопотребление системы, чем при использовании готового ПК, и в то же время удастся более гибко задать такие параметры, как яркость экрана, объем памяти и другие.

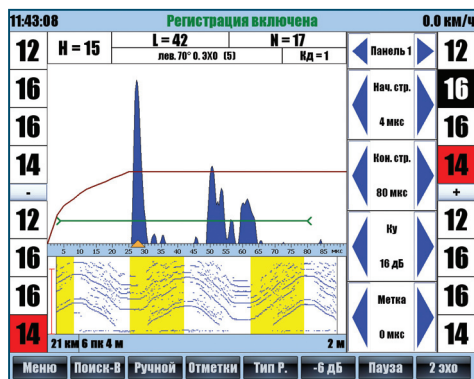


Рис. 5. Режим “ОЦЕНКА” и окно ввода отметки оператора дефектоскопа “АВИКОН-14”.

Как встраиваемые системы, так и готовые компьютеры нуждаются в некотором интерфейсе для соединения с блоком ультразвуковым многоканальным (БУМ). В настоящее время применяются следующие интерфейсы: RS-232, PCI, USB. В виду своей низкой скорости работы интерфейс RS-232 применяется в основном для обработки служебных команд и не участвует в основной передаче данных контроля.

Использование шины PCI целесообразно при подключении БУМ к настольному ПК. Настольные компьютеры, как правило, имеют в своем составе свободные PCI-слоты, в которые возможна установка соответствующих переходных плат, кроме того, скорость PCI-шины достаточна для передачи потока данных ультразвукового контроля. Наиболее универсальным средством соединения БУМ и БУИ дефектоскопа является интерфейс USB. Данный интерфейс имеется у большинства современных компьютеров, и его скорость так же достаточна для передачи данных. Таким образом, архитектура построения дефектоскопа с двумя блоками, разделенными по функционалу, в совокупности с использованием готовых вычислителей и компьютеров обладает большим потенциалом, реализация которого только начинается в разрабатываемых на сегодняшний день дефектоскопах.

Многочисленные отзывы пользователей, советы специалистов, а также собственный многолетний опыт ведения разработок по данному направлению позволяют нам, специалистам ОАО “Радиоавионика”, и в дальнейшем не снижать темпов совершенствования средств неразрушающего контроля рельсов.

Литература:

1. Марков А. А., Шпагин Д. А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов. 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: Образование – Культура, 2008. с. 283.
2. Марков А. А., Кузнецова Е. А. Дефектоскопия рельсов. Формирование и анализ сигналов. Книга 1. Основы. Практическое пособие в двух книгах. – СПб.: КультИнформПресс. 2010. – с 292. УДК 620.179.16.05

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСШИФРОВКИ СИГНАЛОВ МНОГОКАНАЛЬНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ



Д.В. ФЕДОРЕНКО

*Начальник отдела
программного
обеспечения НТЦ
РСиПСНК*

Рассмотрены проблемы автоматизации расшифровки результатов ультразвукового контроля рельсов и пути их решения.

На сети Российских железных дорог с целью обеспечения безопасности железнодорожного движения эксплуатируется более 3-х тысяч различных дефектоскопов. Все они оснащены многоканальной схемой прозвучивания и системой регистрации сигналов контроля. С их помощью за год проверяется более 5 миллионов километров пути и обнаруживается около 50 тысяч опасных дефектов рельсов.

Анализ зарегистрированных в процессе контроля данных выполняется в стационарных условиях оператором – расшифровщиком. Расшифровщик, просматривая запись, представленную в виде В-развертки, производит оценку качества выполненного контроля и поиск сигналов, зафиксированных от дефектов металла рельса [1]. Несмотря на достаточно высокую эффективность контроля, в течение года на сети дорог происходит более пятидесяти изломов рельсов. Часть изломов могла быть предотвращена по результатам неразрушающего контроля, однако, на этапе расшифровки отметки в записи, указывающие на наличие дефекта, были пропущены.

Для снижения влияния человеческого фактора на качество расшифровки целесообразно максимально автоматизировать этот процесс. Требуется разработать и внедрить программные средства, способные проводить автоматический анализ записей средств неразрушающего контроля.

Как показывает опыт работы по созданию подобных систем [2], в процессе выполнения автоматического анализа дефектограммы необходимо осуществить разделение множества зарегистрированных сигналов на группы, по причине их возникновения:

- сигналы, зафиксированные от конструктивных элементов рельса;
- мешающие сигналы и шумы;
- сигналы, зафиксированные от дефектов металла рельса.

Это позволит осуществить поэтапный анализ дефектограмм по различным критериям и представить результаты в виде протокола, содержащего

информацию об идентифицированных в процессе автоматического анализа сигналах. Далее, по данному протоколу оператором принимается окончательное решение о возможном наличии дефекта в металле рельса.

Дефектограмма, получаемая в процессе многоканального ультразвукового контроля, должна четко показывать расположение отражателей в металле рельса. Однако, на процесс формирования записи, кроме самого объекта контроля, оказывает влияние множество сторонних факторов, приводящих к искажению записи [3]:

- техническое состояние дефектоскопа;
- нарушение технологии контроля;
- плохое состояние контролируемых рельсов (микротрещины, коррозия поверхности рельса, износ или загрязнение поверхности катания);
- воздействие внешних электромагнитных помех.

Воздействие этих факторов может приводить к снижению амплитуд сигналов, вплоть до их полного пропуска. Вследствие этого сигналы от конструктивных элементов рельса (рис. 1), представляющих наиболее четкие отражатели (подошва, торцы, болтовые отверстия, элементы стрелочного перевода), и сигналы от дефектов металла рельса в дефектограмме фиксируются неполностью или отсутствуют.

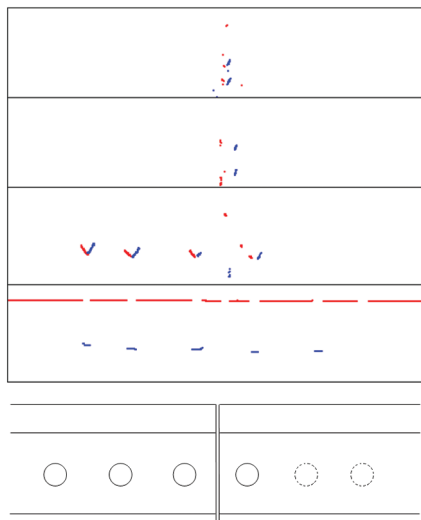


Рис. 1. Неполная фиксация на дефектограмме болтового стыка (на схеме пунктиром выделены неполностью зафиксированные болтовые отверстия)

Также воздействие внешних факторов может привести к фиксации ложных сигналов. Такие сигналы не несут достоверной информации о расположении отражателей в металле рельса.

Что же касается самого объекта контроля – рельса, сигналы, зафиксированные от конструктивных элементов, составляют значительную часть (до 95 %). Несмотря на стандартизацию этих элементов, они зачастую имеют различную конфигурацию (рис. 2) за счет дополнительных отверстий, находящихся как непосредственно в зоне конструктивных элементов, так и рядом с ними. Все эти факторы приводят к усложнению процесса интерпретации дефектограммы, и их учет является основной проблемой при реализации систем автоматической расшифровки сигналов контроля рельсов.

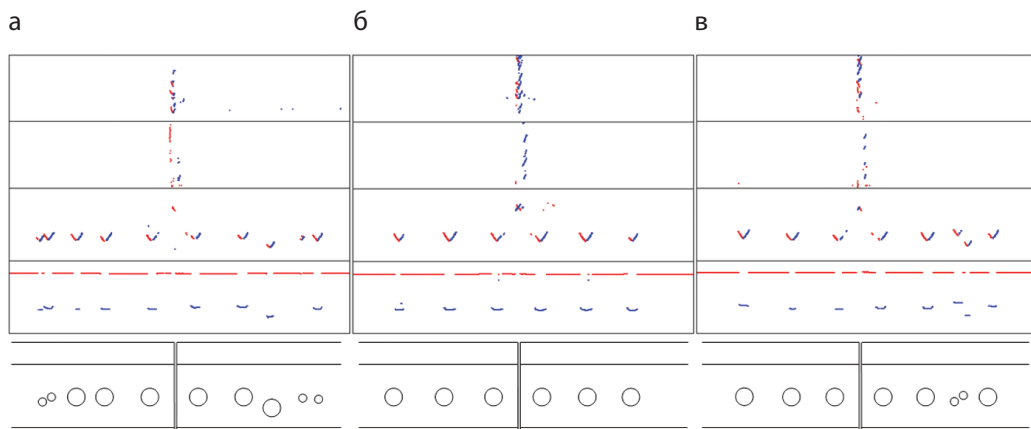


Рис. 2. Дефектограммы и соответствующие им схемы болтовых стыков различной конфигурации: а – с отверстиями контактных соединителей и дополнительными отверстиями; б – типовая; в – с дополнительными отверстиями

Так, например, при неудовлетворительной записи по нескольким каналам контроля крайне затруднительно определить принадлежность группы сигналов к множеству сигналов, зафиксированных от конструктивных элементов. При их классификации может быть допущена ошибка и они могут быть приняты за сигналы, полученные от дефекта металла рельса. Из этого можно сделать вывод, что принятие решения на основе данных одной-единственной дефектограммы не позволит получить достаточной надежности системы расшифровки.

Одной из немаловажных проблем автоматизации процесса расшифровки дефектограмм является отсутствие утвержденных критериев принятия решения о наличии дефекта по сигналам контроля.

Таким образом, для реализации системы автоматизации расшифровки сигналов ультразвукового контроля рельсов требуется повысить качество дефектограмм и использовать дополнительную информацию об анализируемом участке пути.

Одним из путей повышения качества дефектограммы является замена применяемых в настоящее время систем скольжения на системы качения, обеспечивающие более качественный акустический контакт и, как следствие, более качественную запись сигналов контроля.

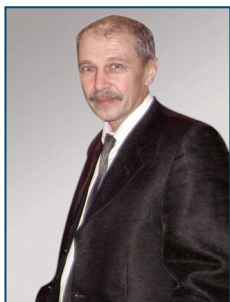
Дополнительная информация о расположении и типах конструктивных элементов может быть получена из паспорта пути. Формирование паспорта пути может осуществляться за счет накопления результатов автоматического анализа дефектограмм одного и того же участка пути. Внесение данных в паспорт должно выполняться после их корректировки оператором.

Изложенные в статье подходы будут применены для повышения качества работы существующей программы автоматизации расшифровки сигналов ультразвукового контроля рельсов.

Литература:

1. Марков А. А., Мосягин В. В., Шилов М. Н., Федоренко Д. В. Новый дефектоскоп «АВИКОН-11» для сплошного контроля рельсов. В мире НК, 2006, №2 (32). стр 30-33.
2. Федоренко Д. В. Автоматизация анализа результатов НК уложенных в путь рельсов. В мире НК. 2010, №2 (48). стр 37-39.
3. Марков А.А. Кузнецова Е.А. Федоренко Д. В. Оценка качества выполнения контроля рельсов при анализе дефектограмм. В мире НК, 2006, №1 (31). стр 35-38.

ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРИ СОЗДАНИИ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ



В.А. БОВДЕЙ
Начальник отдела
конструкторской
документации

Важными составляющими процесса разработки КД является использование новых технологий проектирования, новых материалов и покупных изделий, широкое применение стандартизированных и нормализованных деталей и элементов. Всё это приводит к сокращению сроков проектирования, подготовки производства и изготовления, к повышению качества и надежности современных дефектоскопов.

Процесс создания и развития новых изделий наглядно можно увидеть на примере разработки ультразвукового дефектоскопа МИГ-УКС (рис. 1-4).



Рис. 1. МИГ – экспериментальный образец



Рис. 2. МИГ – опытный образец

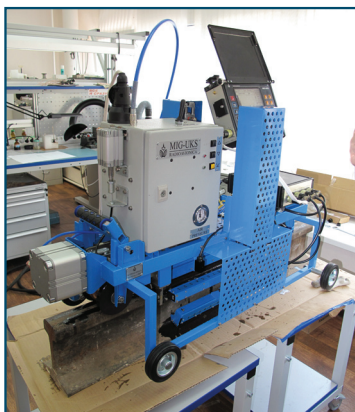


Рис. 3. МИГ – РСРП полуавтомат



Рис. 4. МИГ сканирующий

Применение современных систем AutoCAD, SolidWorks, 3D-Max, PCAD, «Компас» существенно облегчает работу конструкторов и производства. Так, например, для правильного размещения заказа нашему производству нужно разослать чертежи в разные фирмы-изготовители. Для этого приходилось делать несколько копий, содержащих сотни чертежей, теперь же конструкторам достаточно перевести файлы в формат PDF и по электронной почте передать на производство. Мировое признание системы AutoCAD дает возможность легко общаться с зарубежными партнерами и «разговаривать» на одном инженерном языке.

Использование электронных образов деталей заметно сказывается на качестве и времени их изготовления. К сожалению, технология производства механических деталей заметно отстаёт от благ, предоставленных конструкторскими программами, и электронные образы используются пока только для лазерного раскроя листового материала. И только разработка новых печатных плат невозможна без САПР!

Как известно, конструктору ошибаться нельзя. В современных условиях, когда срок разработки изделия сокращен до минимума, а финансовых ресурсов порой достаточно только для выпуска одного готового изделия, ошибка конструктора может повлечь катастрофические последствия для самого многообещающего проекта. Учитывая это, конструктор работает с таким мощным инструментом, каким является система автоматизированного проектирования печатных плат P-CAD 2006.

Процесс разработки платы полностью проходит в одной системе, которая проводит сквозной контроль по всем этапам проектирования от создания схемы до выпуска документации. Единственным недостатком системы является отсутствие автоматического создания файла, содержащего конструкторскую документацию на плату согласно всем требованиям ЕСКД параллельно с файлами для изготовления фотошаблонов и файлом сверления. Лишь экспорт проекта из PCAD в AutoCAD дает эту возможность.

Ни в одной конструкторской работе не видно такого прогресса, как у «печатников» — еще во времена «кульманов» печатные платы «разводились» с помощью БЭСМ-6, а корректировались на ЕС-1045 и СМ. С приходом компьютеров пришла система PCAD и, несмотря на сложности в адаптации, прогресс был заметным.

Постоянное совершенствование версий PCAD улучшало жизнь конструктора, налаживалось и изготовление печатных плат на автоматических линиях производства. Сейчас по выходному файлу проекта печатную плату могут изготовить в любой стране мира.

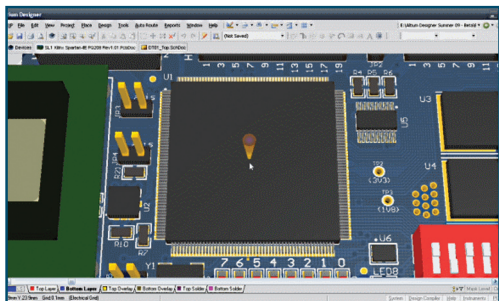


Рис. 5. Пример 3D-просмотра элементов на плате в Altium Designer

Еще более мощным инструментом трехмерного проектирования является программа SolidWorks. Она, в отличие от AutoCAD, является параметрической, т.е. чертеж в ней получается как проекции твердотельной модели и, соответственно, жестко привязан к ней. Это исключает ошибки при простановке размеров на чертежах и позволяет автоматически редактировать размеры на чертежах при изменении модели. Кроме того, SolidWorks позволяет увидеть конфликты, связи и взаимодействия подвижных деталей в сборке.

Дальнейшее развитие современных технологий требует от конструктора идти в ногу со временем, используя не только новые материалы, но и работая новыми методами и приемами. В отличие от PCAD, система AutoCAD каждый год радует созданием новой версии. Так, AutoCAD-2010 позволяет перевести готовый проект из редактируемого файла *.dwg в файл-чертеж *.pdf. AutoCAD-2011 получил новые инструменты анализа и исследования 3D модели - ассоциативные поверхности, поверхности анализа (рис. 6).

Компьютер и программное обеспечение – это всего лишь мощные современные инструменты! Определяющими же факторами в создании нового являются – знание, опыт, интуиция, слаженность коллектива и своевременное финансирование.

К сожалению, фирма, разрабатывающая PCAD, прекратила ее развитие. Но появились альтернативные САПР – Altium Designer, Cadence Allegro - с новыми приемами проектирования. Так, в Altium Designer существует возможность просмотра трехмерного вида проектируемой платы. Конструктор видит на мониторе реальный вид платы с элементами (рис. 5).

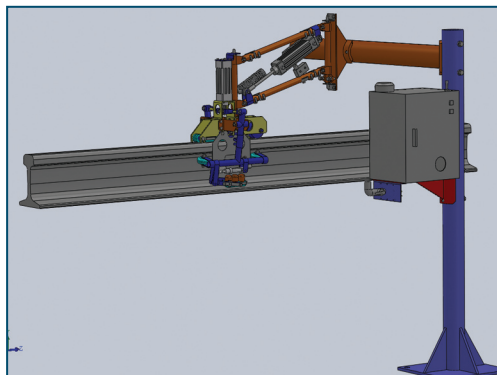
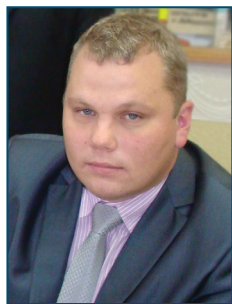


Рис. 6. Пример 3D-просмотра АВИКОН-РСП

КООРДИНАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ, ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



М.Н. ШИЛОВ
Заместитель
директора НТК
СНК, к.т.н.

ОАО «Радиоавионика» за 20 лет развития прошло путь от небольшого предприятия, которое поставило перед собой задачу разработки сразу нескольких инновационных приборов для нужд железнодорожного транспорта и Министерства обороны, до крупного серийного производителя техники, широко эксплуатируемой во всех уголках России и за ее пределами.

Диверсификация разработок не только позволила предприятию год за годом уверенно развиваться, но и потребовала дифференцированного подхода в организации цикла «разработка – изготовление – сопровождение эксплуатации» сразу по нескольким различным направлениям. Заслуженный за прошедшие годы статус одного из основных поставщиков дефектоскопной техники для ОАО «РЖД» обязывает предприятие активно участвовать в решении всех наиболее острых проблем дефектоскопии рельсов вместе со специалистами железных дорог. Тесное сотрудничество с Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД», определяющим направление развития технологий диагностики пути, позволяет специалистам НТК средств неразрушающего контроля ОАО «Радиоавионика» сформулировать для себя наиболее актуальные вопросы хозяйства пути и сосредоточиться на создании необходимых приборов. В частности, именно специалисты нашей организации в 2005 году первыми приступили к решению задачи автоматизации контроля сварных стыков рельсов. Эта необходимость была продиктована возрастающим количеством сварных стыков на сети дорог ОАО «РЖД». Действующая технология с использованием ручного сканирования зоны стыка не обеспечивала требуемой производительности контроля и его достоверности. Результатом работ стало создание дефектоскопа МИГ-УКС, который после значительной доработки в 2011 году успешно прошел испытания заказчика и рекомендован к широкому внедрению на сети дорог.

Создание функционально сложных приборов, предназначенных для эксплуатации в суровых условиях железнодорожных дорог, требует длительного цикла предварительных испытаний в реальных условиях пути. ОАО «Радиоавионика» наладило сотрудничество с Октябрьской железной дорогой, которая предоставляет полигоны для организации таких испытаний. Необходимо отметить, что именно специалисты линейных подразделений дороги (в пер-

вую очередь, Санкт-Петербург-Балтийской и Гатчинской дистанций пути) и Центра диагностики дают первую оценку каждому из новых приборов, помогают выявить его недостатки на первом этапе опытной эксплуатации (рис.1).

Безусловно, после широкого внедрения новых приборов на всех железных дорогах ОАО «РЖД» появляются дополнительные предложения по доработке конструкции и программного обеспечения дефектоскопа. Для постоянного анализа результатов эксплуатации приборов в различных регионах специалисты НТК средств неразрушающего контроля поддерживают прямую связь как непосредственно с отдельными дистанциями пути, так и дорожными предприятиями - Центрами диагностики, лабораториями дефектоскопии. Для организации сервисного обслуживания изготавливаемой техники в структуре производственного подразделения ОАО «Радиоавионика» (ПТК «Прогресс») создан Сервисный центр по продукции НК. Данное подразделение выполняет ремонт дефектоскопов, а также проводит весь объем доработок электронных модулей дефектоскопа, введенных за время его эксплуатации разработчиками с целью повышения надежности или расширения функциональных возможностей прибора.



Рис.1. Совместная опытная эксплуатация новых приборов на Октябрьской железной дороге

Анализ статистики отказов дефектоскопов позволяет дополнительно сформулировать требуемые доработки схемотехнических решений для подразделения разработчиков. На всю продукцию, выпускаемую серийно, на предприятии

оформлен полный комплект конструкторской документации в соответствии с ЕСКД, на изменения документации выпускаются извещения. Технологию производства проводится работа по формированию предложений по изменению конструкции с целью повышения технологичности изделия.

Одной из наиболее острых проблем является снабжение комплектацией, необходимой для выполнения ремонта и изготовления запасных частей. Элементная база зачастую снимается изготовителем с производства без выпуска прямого аналога. В этих случаях разработчиками НТК средств неразрушающего контроля проводится частичное изменение схемы электронных модулей, либо их полная переработка. Для решения перечисленных проблем (отсутствие необходимой комплектации, повторяющиеся отказы в эксплуатации, необходимость совершенствования функциональных возможностей или технологичности изделия) разработчиками, производством и Службой качества проводятся регулярные совместные рабочие совещания (рис.2). Результатом такого взаимодействия при необходимости становится корректировка действующих на предприятии процедур, либо других документов.



Рис.2. Заместитель генерального директора по производству В.И.Чащин проводит совещание по вопросам производства изделий НТК СНК

ного ремонта дефектоскопов силами лабораторий дефектоскопии. С этой целью проводится обучение инженеров лабораторий, передается необходимая документация, налажена поставка на дороги требуемых запасных частей. В необходимых случаях организуется выезд на дороги специалистов подразделений разработчиков и производства.

В 2010 году в Ростове-на-Дону был открыт филиал ОАО «Радиоавионика», одной из задач которого является сервисное обслуживание средств дефектоскопии, выпускаемых предприятием, в южном регионе. На сегодняшний день на железных дорогах России основным и наиболее массовым

Исторически ОАО «РЖД» имеет собственную развитую структуру ремонтных предприятий, обеспечивающих бесперебойную эксплуатацию дефектоскопов на линии. При каждой железной дороге организована лаборатория дефектоскопии, которая организует приемку новых дефектоскопов, их ввод в эксплуатацию, плановые ремонты и техническое обслуживание, внеплановый ремонт отказавших дефектоскопов.

В ОАО «Радиоавионика» для сокращения сроков простоя приборов принята политика, направленная на организацию максимально возмож-

средством дефектоскопии остаются съемные двухниточные тележки, обеспечивающие весь объем первичного контроля рельсов на всей сети дорог. ОАО «Радиоавионика» изначально сделало ставку на значительное увеличение функциональных возможностей данного класса приборов, их эргономичное исполнение с использованием самой современной цифровой элементной базы. Таким прибором нового поколения в 1998 году стал дефектоскоп АВИКОН-01. Потребовалось несколько лет на то, чтобы принципиально новый дефектоскоп с жидкокристаллическим дисплеем и цифровым управлением начал эффективно эксплуатироваться, значительно повысив количество выявляемых дефектов рельсов. Обеспечивая в отдельные годы поставку серий до 250 штук в год, производство ОАО «Радиоавионика» поставило в общей сложности на железные дороги порядка 800 единиц данных дефектоскопов.

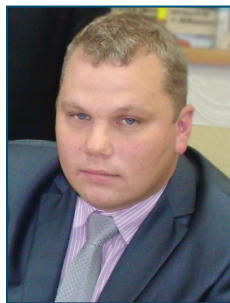
Быстрое развитие цифровой техники стимулирует постоянное совершенствование технологии диагностики железнодорожного пути. Это, в свою очередь, требует от разработчиков диагностической техники оперативной реакции на изменения требований к приборам и необходимой модернизации уже эксплуатируемых дефектоскопов. В 2006 году был разработан новый двухниточный дефектоскоп АВИКОН-11, который поставляется на железные дороги страны и по настоящее время, к середине 2011 года выпущено уже более 500 таких приборов. В данном дефектоскопе была усовершенствована схема прозвучивания, улучшены отдельные параметры регистрации сигналов, введено отображение в реальном режиме времени дефектограмм контроля. Еще одним прибором, серийно поставляемым на железные дороги, является портативный дефектоскоп АВИКОН-02Р. Прибор предназначен для контроля сварных стыков рельсов и отдельных участков пути. На дороги поставлено порядка 500 дефектоскопов АВИКОН-02Р. Таким образом, общее количество дефектоскопов, изготовленных ОАО «Радиоавионика», на сегодняшний день на сети дорог ОАО «РЖД» насчитывает порядка 1800 единиц. Одной из важнейших задач предприятия сегодня является обеспечение бесперебойной эксплуатации данного парка приборов на протяжении всего установленного срока службы. Обеспечение перечисленных выше функций по сопровождению эксплуатации приборов на железных дорогах России является для предприятия задачей не менее важной, чем разработка и производство новых изделий. Проведение данных работ требует значительных ресурсов, как от подразделения разработчиков, так и от производства.

Только взаимодействие с Дирекцией инфраструктуры ОАО «РЖД», а также с отдельными железными дорогами позволит и в дальнейшем совершенствовать выстроенную на предприятии систему сопровождения продукции с целью повышения эффективности эксплуатации поставляемых средств разрушающего контроля.

СОТРУДНИЧЕСТВО НТК СНК С ЗАРУБЕЖНЫМИ СТРАНАМИ



А.А. МАРКОВ
Директор
НТК СНК



М.Н. ШИЛОВ
Зам. директора
НТК СНК

Вопросы неразрушающего контроля рельсов являются актуальными не только для России, но и для других стран мира, где имеются железные дороги.

Задачи, стоящие перед специалистами ОАО «Радиоавионика» по разработке средств НК, обусловлены географическими и климатическими особенностями России: большая протяженность железных дорог (более 140 тыс. км развернутой длины), широкий диапазон

рабочих температур (от минус 40° С до плюс 50° С), качество рельсового металла. С учетом этих сложных условий нашим специалистам удалось разработать дефектоскопы, востребованные во всем мире.

Первый опыт контакта (с 2005 г.) с венгерской фирмой «МАВ» оказался успешным и завершился поставкой оборудования для вагона-дефектоскопа, реализующего три метода неразрушающего контроля (ультразвуковой, магнитодинамический и визуальный). Получены соответствующие европейские сертификаты, разрешающие использование системы при контроле рельсов в странах Европы. С помощью этого оборудования в рамках заключенных контрактов успешно контролируются рельсы во многих странах центральной Европы (Венгрия, Словения, Хорватия, Австрия). Для технического обслуживания в рамках действующих контрактов специалисты ОАО «Радиоавионика» регулярно выезжают в Венгрию (рис.1).

С фирмой «МАВ» развиваются отношения и по другим направлениям. Интересно, что и венгерские приборы и технологии востребованы на российском рынке, но требуют адаптации к местным условиям. И в этом вопросе ОАО «РЖД» доверяет именно нашей компании. ОАО «Радиоавионика» проводит работы, направленные на внедрение в России венгерских приборов для определения нейтральной температуры рельса и измерения прямолинейности сварных стыков.

Наиболее широкие контакты осуществляются через фирму «Жейсмар» (Франция). Эта фирма – известный поставщик путевой техники для всех железных дорог мира – является нашим дистрибьютором по поставке Российского дефектоскопического оборудования в рамках рамочного соглашения. Благодаря совместной деятельности наши дефектоскопы работают в Канаде, Турции, Мавритании, Франции и Англии. Ведутся работы по

продвижению нашей продукции в такие развитые страны как Швейцария и Китай.



Рис.1. Аппаратура АВИКОН-03М на венгерском вагоне-дефектоскопе

ков с производством. Зачастую требуемые сроки изготовления заказа крайне сжаты, и, одновременно с этим, требуется дополнительная корректировка конструкторской документации в соответствии с требованиями заказчика.

По заказам фирмы Жейсмар не только проведена адаптация таких дефектоскопов, как АВИКОН-02Р,-11,-12 и МИГ-УКС, но и полностью разработан комплекс дефектоскопный АВИКОН-16 для установки на самоходную французскую тележку IPV для проверки рельсов на скоростях до 10 км/ч (рис.2). На российских железных дорогах такие технологии в настоящий момент не используются. Тем не менее, отдельными промышленными предприятиями, имеющими собственные подъездные пути, уже проявляется интерес к данной совместной разработке.

Благодаря дружеским контактам с австралийской фирмой «RTI» нам удалось внедрить в России перспективный способ ультразвуковых колебаний, основанный на использовании колесных ультразвуковых преобразователей с упругой оболочкой. Данная разработка является еще одним примером того, как опыт взаимодействия с различными железными дорогами мира помогает взглянуть по-новому на привычные технологии, расширить традиционные возможности российских приборов. Примечательно, что в отдельных странах используются именно колесные преобразователи, а системы скольжения запрещены к применению.

В 2010 году в рамках международного соглашения между ОАО «РЖД» и Ливийскими ж.д. поставлено и успешно прошло приемочные испытания оборудование для рельсосварочного предприятия (МИГ-УКС, АВИКОН-02ПК) в г. Бенгази (рис.3). Подобные комплексные поставки оборудования для сварки и проверки рельсов в будущем планируются и в другие страны.

Специалистами НТК средств неразрушающего контроля проводится трудоемкая работа по адаптации оборудования под требования дистрибьютора. Изменения касаются не только интерфейсной части оборудования, реализуемой на самых разных языках мира, но и конструкции – в первую очередь, с расчетом на различную ширину ж.д. колеи и типов рельсов. Этот уникальный опыт поставок по всему миру требует и отработки новых процедур организации взаимодействия разработчи-



Рис. 2. Самоходная тележка для дефектоскопии рельсов IPV с комплексом АВИКОН-16

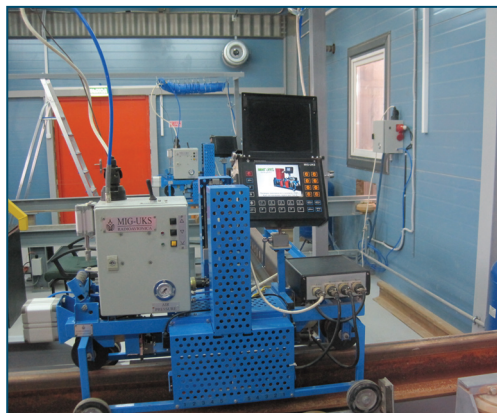


Рис. 3. Оборудование ОАО «Радиоавионика» на рельсосварочном предприятии в Ливии

Необходимо также отметить, что наш вагон-дефектоскоп и ряд другого дефектоскопического оборудования много лет успешно эксплуатируется в Казахстане (рис.4), странах Балтии и метрополитене г. Баку (Азербайджан). Специалисты самых различных стран ближнего зарубежья активно проходят обучение в Центре подготовки ОАО «Радиоавионика».



Рис. 4. Вагон-дефектоскоп производства ОАО «Радиоавионика» на железных дорогах Казахстана

Для поиска новых партнеров руководители и специалисты ОАО «Радиоавионика» регулярно посещают крупные международные форумы по железнодорожной тематике в Китае, Индии, Германии, Венгрии и других странах.

Тесные контакты с зарубежными фирмами и железными дорогами способствуют не только получению коммерческой выгоды, но и позволяют поднять уровень наших разработок до мирового уровня и обеспечить качество выпускаемой продукции, удовлетворяющее наших зарубежных партнеров.



НЕЙЛ МАККУЭЙГ

*Доктор,
член научного сообщества
английского Института
неразрушающих технологий,
директор подразделения
«Жейсмар» в Великобритании*

Сосьетедез Ансьен Этаблиссман Л. Жейсмар поздравляет ОАО «Радиоавионика» с 20-летием, важной вехой на пути разработки, производства и обслуживания широкого ассортимента электронных систем, включающих ручное и моторизованное оборудование для неразрушающего контроля рельсов.

За 20 лет ОАО «Радиоавионика» разработала ряд приборов для обследования рельсов и сварных стыков, что включает большое число ранее не существовавших и запатентованных инноваций для лучшего выявления и определения разнообразных дефектов рельсов. На наш взгляд, методы выявления дефектов, разработанные инженерами ОАО

«Радиоавионика», соответствуют международному уровню и предоставляют лучшие, по сравнению с конкурентами во всем мире, возможности обнаружить, охарактеризовать и визуализировать внутренние дефекты рельсов. За это время ОАО «Радиоавионика» заняла уверенную позицию поставщика ультразвуковых дефектоскопов в Российской Федерации и близлежащих странах благодаря программе постоянного развития основного оборудования и систем и дальнейшим разработкам оборудования в целях расширения возможностей железных дорог в выявлении потенциально опасных дефектов в пути.

Программа развития основана на технических возможностях сотрудников ОАО «Радиоавионика», обладающих высочайшим уровнем, детальным знанием и пониманием взаимодействия ультразвука с рельсом. 20 лет опыта позволили понять фундаментальные вопросы, связанные с металлургическими проблемами, вызывающими развитие дефектов, а также описать данные дефекты с целью обеспечить заблаговременное предупреждение соответствующих служб для своевременной замены участков пути, содержащих дефекты.

Компания «Жейсмар» вот уже несколько лет с удовольствием сотрудничает с ОАО «Радиоавионика» в области эксплуатации данной неразрушающей технологии за пределами Российской Федерации, стран Балтии и СНГ. Компания «Жейсмар» предоставляет исключительно широкий спектр оборудования для обслуживания рынка железных дорог во всем мире. Хотя центральный офис компании расположен во Франции, «Жейсмар» –

международная компания с представительствами во всей Западной Европе, Северной и Южной Америке, Азии и России. За последние 60 лет работы компания «Жейсмар» стала поставщиком, которого предпочитают многие железнодорожные компании во всем мире. Спектр продукции компании «Жейсмар» включает в себя почти все оборудование, необходимое для строительства и обслуживания железнодорожных путей и контактной сети, от простых инструментов, широкого ряда машин малой механизации, таких как рельсосверлильные и рельсорезные станки, до более сложных ручных инструментов, механизированных приборов, тележек, экскаваторов, порталных подъемников для укладки пути, систем для монтажа контактной сети, машин для обслуживания пути, а также стационарного оборудования для рельсосварочных предприятий.

Расширяющийся сектор индустрии обслуживания железных дорог – контроль состояния железнодорожного пути, как в целом, так и отдельных частей его системы. Для этих целей компания «Жейсмар» продолжает расширять гамму продукции для проверки состояния пути. «Жейсмар» поставляет переносное измерительное оборудование во всем мире на протяжении многих лет, развивая в последние 15 лет ряд электронных инструментов для измерения и проверки железнодорожного пути. Данный инструментарий включает ручные тележки, позволяющие оператору увидеть на компьютерном мониторе относительное положение пути, проверить габариты, уровень и перекос пути. Обнаружение превышения допустимого уровня системным программным обеспечением означает, что операторы быстро получают информацию о наличии зон с проблемами геометрических параметров пути. Более усовершенствованные системы позволяют выполнять точные измерения геометрии стрелочного перевода или измерения стрел изгиба в горизонтальных или вертикальных кривых рельсовых путей. «Жейсмар» имеет многолетний опыт поставок тележек на бензиновом и/или электрическом ходу, и комплектация данных систем измерительными устройствами была естественным этапом развития компании; то же самое относится и к 2-осным и 4-осным автомотрисам: на наших заводах производятся мотрисы длиной до 22 м, развивающие скорость до 120 км/ч.

За последние 10 лет во всем мире заметно увеличилось количество запросов в компанию «Жейсмар» на поставку ультразвуковых дефектоскопов для проверки рельсов. С 50-60 годов такое оборудование требовалось в некоторых регионах Европы и Северной Америки, главным образом в странах, где имелись высокоскоростные магистрали и тяжеловесные грузовые поезда. Изломы рельсов становятся дорогостоящим фактором, поэтому раннее выявление дефектов рельсов ведет к значительной экономии средств. Однако во многих странах не было необходимости проверять путь таким образом; теперь ситуация изменилась, и значимость такой проверки при обслужи-

вании путей железных дорог и метро продолжает возрастать во всем мире. Так как «Жейсмар» уже присутствует на рынке данного оборудования, многие компании и страны начали обращаться к нашей компании в поиске таких приборов.

Хотя в компании «Жейсмар» работают сотрудники, обладающие более чем сорокалетним опытом разработок ультразвукового оборудования для железных дорог, мы стремились найти компанию с хорошо развитым практическим опытом железнодорожной ультразвуковой дефектоскопии, которая смогла бы стать настоящим партнером, и «Жейсмар» нашел такую компанию в лице ОАО «Радиоавионика». Рынок продаж ОАО «Радиоавионика», включающий свыше 1500 единиц продукции, от простых ручных приборов и дефектоскопных тележек до скоростных дефектоскопных вагонов, свидетельствует о практическом опыте в разработке, развитии и, что важно для клиентов компании «Жейсмар», — поддержке ультразвукового оборудования на рынке железных дорог.

Сотрудничество между ОАО «Радиоавионика» и «Жейсмар» сперва развивалось медленно (с точки зрения продаж), но было, тем не менее, эффективным и успешным с самого начала. Хотя приборы ОАО «Радиоавионика» имеют значительные технические преимущества, они не всегда укомплектованы или разработаны в соответствии с пожеланиями мирового рынка железных дорог.

Опыт компании «Жейсмар» в данной области позволил еще лучше раскрыться естественному творческому потенциалу инженеров ОАО «Радиоавионика» и разработать решения, выгодные обеим сторонам. Основным направлением являются последние разработки ОАО «Радиоавионика» в области технологии колесных преобразователей. Данные системы, используемые рядом компаний на Западе, не применялись в России, однако развитие «Радиоавионикой» таких систем дало компании «Жейсмар» возможность с большим успехом конкурировать на мировом рынке железных дорог, а ОАО «Радиоавионика» получило более высокую выявляемость дефектов и надежность работы своих приборов на внутренних рынках, как это показали недавно проведенные испытания. Кроме того, опыт компании «Жейсмар» в разработке самоходных дефектоскопных тележек на аккумуляторах предоставил «Радиоавионике» совершенно новую платформу для применения технологий, результатом чего стало значительное количество продаж данных систем в Европе за последние 12 месяцев.

Основной характерной чертой железных дорог во всем мире является разнообразие типов рельсов и габаритов подвижного состава, что отличает их от Российской Федерации, где существует лишь несколько типов рельсов. Однако ОАО «Радиоавионика» работает с «Жейсмар» в области приспособления своего оборудования к требованиям различных профилей рельсов.



Рис. 1. Дефектоскопы EGO US готовы к отправке



Рис. 2. Самоходная тележка EGO US на Международной выставке-ярмарке путевых машин (г. Калуга)



Рис.3. Обнаружение дефектов дефектоскопом АВИКОН-11 на промышленных путях Франции

Это свидетельствует об отношениях партнерства, которыми гордится компания «Жейсмар»: ОАО «Радиоавионика» обладает выдающимися технологиями, «Жейсмар» – международным опытом в сфере железных дорог. Сочетая эти факторы, сотрудничество компаний представляет собой большую силу на железных дорогах в мире, чем каждая из компаний по отдельности.

«Жейсмар» горячо поздравляет «Радиоавионику» с 20-летием!

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АВИКОН-03 НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РАЗНЫХ СТРАН



ЯНОШ БЕЛИ

Исполнительный директор
 MÁV Kft. (MAV Центральное
 диагностическое о.о.о. верхнего
 строения пути железных дорог
 Венгрии)

В статье рассмотрены результаты эксплуатации вагона-дефектоскопа с комплексом АВИКОН-03 на железных дорогах стран Европы.

Практическое сотрудничество между фирмами ОАО «Радиоавионика» и MAV Центральное диагностическое о.о.о. верхнего строения пути – «MÁV Kft» – взяло свое начало на совещании экспертов комиссии ОСЖД (Международная Организация содружества железных дорог) по инфраструктуре и подвижному составу в рамках технического семинара «Разработка комплекса вопросов по рель-

сам, рельсовым скреплениям, бесстыковому пути и механизации путевых работ», состоявшегося в Будапеште (Венгрия) в мае 2005 г.

В соответствии с программой совещания, принятой в Кишиневе (Республика Молдова) по предложению делегации MAV, одним из вопросов было предусмотрено «Сравнение ультразвуковых дефектоскопов разных производителей по возможностям выявления дефектов в рельсах». Наряду с другими приборами на совещании были продемонстрированы технические характеристики и функциональные возможности дефектоскопа для контроля рельсов АВИКОН-11 УДС2-114 (производства ОАО «Радиоавионика»). С помощью макета дефектоскопа выполнен контроль и регистрация сигналов от искусственных отражателей и моделей дефектов в специально изготовленных MAV образцах:

- HV_ETALON (образец с моделями дефектов для проверки аппаратуры перед контролем сварных стыков рельсов);
- SV_ETALON (образец с моделями дефектов для проверки аппаратуры перед контролем основного металла и болтовых стыков рельсов).

Результаты контроля показали, что дефектоскопом выявлены и зарегистрированы практически все отражатели в образцах, причем многие из них по нескольким каналам контроля.

Также на совещании прозвучала информация о возможностях дефектоскопического комплекса АВИКОН-03М.

В 2005 г. стала очевидной необходимость замены морально устаревшей ультразвуковой дефектоскопической системы на вагоне-дефектоскопе МАВ венгерской разработки, поэтому руководство и специалистов «MÁV KfV Kft» заинтересовала современная ультразвуковая дефектоскопическая техника, представленная делегацией ОАО «Радиоавионика» под руководством директора НТК СНК Маркова А. А.



Рис. 1. Специалисты и руководство «MÁV KfV Kft» обсуждают проблемы выявления усталостных трещин (слева направо – Петр Зэнго, Иштван Немет, Бели Янош)

В результате переговоров, проведенных между руководством «MÁV KfV Kft» и делегацией ОАО «Радиоавионика», было решено начать сотрудничество по данному вопросу. Уже в 2005 г. состоялись две встречи руководства и специалистов наших фирм и подписан договор о совместных работах. Одновременно начаты переговоры о возможности и условиях поставки комплекса АВИКОН-03М, модифицированного в соответствии с требованиями венгерской стороны.

В 2006 г. во время рабочей встречи специалистов фирм в Санкт-Петербурге (Россия), а также путем корреспонденции, были согласованы технические вопросы, и, с учетом согласованных требований «MÁV KfV Kft», утверждено техническое задание на разработку венгерского варианта комплекса АВИКОН-03М.



Рис. 2. Подписание договора о совместных работах генеральным директором ОАО «Радиоавионика» Бершадской Т.Н.

В конце марта 2007 г. на встрече в Будапеште стороны уточнили отдельные вопросы технического задания и подписали контракт на поставку комплекса АВИКОН-03М. После этого ОАО «Радиоавионика» приступила к реализации проекта. В сентябре 2007 года в ОАО «Радиоавионика» прошла успешная процедура заводского приема-передачи комплекса, и в ноябре комплекс был доставлен в Будапешт для установки на технический вагон («тест-вагон») «MÁV KfV Kft».

В конце ноября – в начале декабря бригадой специалистов ОАО «Радиоавионика» в составе: директора НТЦ РМСК Политая П.Г. (руководителя бригады), начальника лаборатории Алексеева Д.В., начальника отдела Маховикова С.П., начальника лаборатории Погодина И.П. и начальника отдела прикладных разработок ООО «АбиСофт» Тарнягина Д.В. комплекс был смонтирован на технический вагон. Также на вагон установили венгерскую измерительную тележку со схемой прозвучивания российско-венгерской

разработки. По окончании монтажных работ были выполнены первые – успешные – рабочие проезды.

Для венгерского персонала, работающего на вагоне, был проведен курс обучения по работе и обслуживанию комплекса, выяснению всех его функциональных возможностей, расшифровке дефектограмм и ликвидации возможных возникающих неисправностей.



Рис. 3. Рабочий салон диагностического вагона MAV с комплексом АВИКОН-03М

В течение 2008 г. венгерские специалисты провели множество тестовых проездов для отработки навыков в эксплуатации комплекса, выявления возможных недоработок и формирования пожеланий по отдельным функциям программного обеспечения.

В начале декабря 2008 года специалисты ОАО «Радиоавионика» по заказу «MÁV KfV Kft» демонтировали комплекс с технического вагона и установили его на рабочий вагон-дефектоскоп, внося необходимые поправки и изменения. Также перед окончательным вводом комплекса в эксплуатацию были проведены тестовые проезды.

В начале апреля 2009 вагон-дефектоскоп с комплексом АВИКОН-03М был введен в окончательную эксплуатацию в присутствии и при поддержке специалистов ОАО «Радиоавионика». Венгерский обслуживающий персонал вагона-дефектоскопа получил подробный инструктаж по обслуживанию комплекса.

После этого вагон-дефектоскоп с новой системой контроля рельсов приступил к выполнению своей запланированной годовой программы на сетях железных дорог Венгрии, Австрии, Словакии и Словении. В 2010 г. в период с апреля по декабрь суммарный объем контроля рельсов, выполненный вагоном-дефектоскопом с аппаратурой АВИКОН-03М, составил свыше 20 000 км.

Проведенный анализ результатов вторичного контроля, выполняемого «MÁV KfV Kft» в Венгрии, Словакии и Словении (в Австрии контролем занимается собственная служба) с помощью однопутных дефектоскопных тележек и портативных дефектоскопов, подтверждает выявляемость дефектов комплексом АВИКОН-03М.

Заключенные долготлетние контракты с отечественным и зарубежными заказчиками «MÁV KfV Kft» по дефектоскопическому контролю рельсов также указывают на высокую оценку качества выполнения этих услуг.

На основании опыта эксплуатации комплекса АВИКОН-03М до настоящего времени фирма «MÁV KfV Kft» отмечает, что комплекс работает в

штатном режиме, без аварий. Наша фирма убедилась в том, что в результате сотрудничества с ОАО «Радиоавионика» была разработана измерительная техника мирового технического уровня.

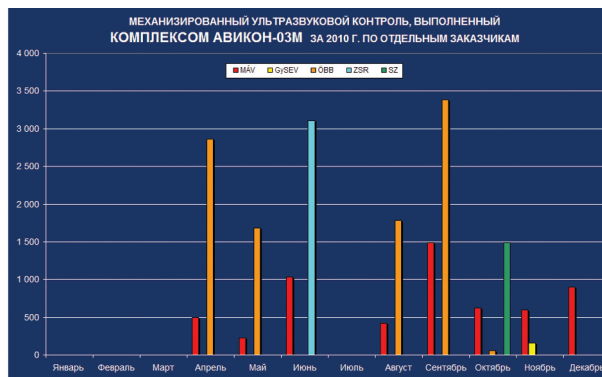


Рис. 4. Объем контроля рельсов по отдельным заказчикам, выполненный комплексом АВИКОН-03М в 2010 г.

Венгерский вагон-дефектоскоп (по-венгерски он называется «рельсовый диагностический вагон») помимо комплекса АВИКОН-03М имеет на своем борту ещё две системы измерения – систему непрерывного измерения поперечного профиля рельсов и систему измерения волнообразного износа. Таким образом, при проезде вагона-дефектоскопа «MÁV KfV Kft» осуществляется сбор информации не только о наличии/отсутствии внутренних дефектов, но и о геометрическом состоянии рельсов, т.е. осуществляется полная диагностика рельсового полотна. Все это позволяет заказчику объективно планировать работы по рельсовому хозяйству.



Рис. 5. Комплекс АВИКОН-03М в работе за границей

Руководство Службы пути Венгерских государственных железных дорог и ее диагностическая фирма «MÁV KfV Kft» благодарны ОАО «Радиоавионика» за совместное успешное сотрудничество в ходе создания венгерского варианта комплекса АВИКОН-03М (а также в других направлениях) и возможность познакомиться и дружно работать с высококвалифицированными специалистами этой российской организации.

НАШИ ДЕФЕКТОСКОПЫ В ЛИВИИ



Ю.А. МАРКОВ
Заместитель
начальника
службы сервиса

Наблюдая за происходящими сегодня событиями в Ливии, с сожалением приходится констатировать, что при ином развитии событий в этой стране вклад ОАО «Радиоавионика» в становление железных дорог в Ливии, а значит, и в развитие этой страны мог быть существенным.

В 2008 году ОАО «РЖД» начало реализацию масштабного проекта в Северной Африке – 17 апреля этого года между ОАО «РЖД» и Управлением по реализации железнодорожных проектов Ливии был заключен контракт на 2,2 млрд евро на строительство железнодорожной линии Сирт – Бенгази. Проект предусматривал строительство современной скоростной (250 км/ч) железнодорожной линии с шириной колеи 1435 мм протяженностью 554 км, которая пройдет вдоль побережья Средиземного моря и соединит крупные города Ливии, а в будущем станет частью международного транспортного коридора на севере Африки.

В июне 2010 года в рамках реализации контракта было открыто рельсосварочное предприятие (РСП) в городке Рас-Лануф, которое использует современную технологию изготовления длинномерных рельсовых плетей. РСП построило российское предприятие ЗАО «Псковэлектросвар». Расчетная производственная мощность предприятия составляет 500 км пути в год. Оборудование, входящее в состав технологических линий РСП, спроектировано и изготовлено с применением передовых достижений научной мысли.



Рис.1. Генеральный директор ЗАО «Псковэлектросвар» С. И. Журавлев рассказывает комиссии о достоинствах МИГ-УКС. На переднем плане – президент ОАО «РЖД» В. И. Якунин и Руководитель «Ливийских железных дорог» Саид Рашид

Для ливийцев появление такого предприятия имело огромное значение. Завод должен был обеспечивать рельсовыми плетями не только строительство железной дороги на скоростном участке Сирт - Бенгази, но и поставлять на рельсозовных составах на другие участки стройки, экспортировать за пределы Ливии.

ОАО «Радиоавионика» приняло непосредственное участие в оснащении РСП в Ливии своей техникой. Контроль сварных стыков в плетях было доверено производить дефектоскопам именно нашего производства. Это был первый опыт проектирования МИГ-УКС для контроля рельсов европейского типа UIC60, отличающихся от российских рельсов по профилю, и первый опыт по использованию дефектоскопов МИГ-УКС для контроля сварных стыков за рубежом. Техническое сопровождение разработки технологии сварки европейских рельсов и доработки технической документации по нашим дефектоскопам осуществляло ОАО «ВНИИЖТ». В рамках договора между ОАО «Радиоавионика» и ЗАО «Псковэлектросвар» для использования на РСП в Ливии было поставлено: 2 комплекта многоканального дефектоскопа МИГ-УКС/РСП для ультразвукового автоматизированного контроля сварных стыков рельсов в свариваемых плетях с пневматическим приводом блоков резонаторов; 2 дефектоскопических комплекса, состоящих из портативного ультразвукового дефектоскопа «АВИКОН-02Р» и промышленного компьютера со специализированным программным обеспечением; компьютер со специальным ПО для ведения базы данных протоколов контроля. Кроме того, в рамках договора для РСП в Ливии были обучены работе на дефектоскопах МИГ-УКС и «АВИКОН-02Р» 19 человек.

Зрелище на посту дефектоскопии по приезду в Ливию для проведения пуско-наладочных работ в мае 2010 года было жалкое: в местах прохода рельсов в стенах помещения зияли огромные дыры, со всех сторон внизу стен были щели, вследствие чего во всем помещении везде лежал песок (ливийский песок очень мелкий, и во время песчаных бурь, случающихся там летом примерно раз в неделю, он забивается всюду).

Были приняты все меры по герметизации помещения, все щели обработаны герметиком, места прохода рельсов заложены подходящим материалом до габаритов рельсов и закрыты специально вырезанными резиновыми пластинами.

Перевозка морем в металлических контейнерах и жаркий климат континента не самым лучшим образом повлияли на состояние оборудования. При жаре на улице в 45°С температура внутри контейнеров доходила до очень высоких, кроме того, при перевозке морским путем в них попадала соленая вода Средиземного моря. Все это повлияло на функционирование дефектоскопов МИГ-УКС, но в результате принятых мер их удалось привести в нормальное состояние. Оказалось, что тропическое исполнение, в котором были выполнены дефектоскопы, — это не только учет жаркого климата (хотя как можно учесть длительное нахождение оборудования в раскаленных до 90°С контейнерах с соленой водой), но и учет воздействия морской воды.

За время, прошедшее с момента отгрузки нашего оборудования (май-июнь 2009 г.) в Псков, а затем в Ливию до начала пуско-наладочных работ на РСП,

нашими конструкторами были внесены доработки модулей МПП и МКПП, входящих в состав блоков БУМ-11МГ дефектоскопов МИГ-УКС для улучшения их надежности и эксплуатационных характеристик. По этой причине были изготовлены усовершенствованные модули с заменой их на месте.

После начала настройки каналов МИГ-УКС (а их около двухсот) выяснилось, что экстремальные условия, упомянутые выше, повлияли на чувствительность части датчиков. Они были успешно заменены на новые из ЗИП. Надо отметить, что для поддержания нормальных климатических условий и для поддержания рабочей температуры в 25°С на рабочих местах на РСП предусмотрены кондиционеры. Но по разным причинам их до самого конца пуско-наладочных работ не успели подключить и климат на посту дефектоскопии был близкий к критическому: при работе пот лился градом.

Были изготовлены специальные полки с кронштейнами, в результате чего работа с дефектоскопическими комплексами «АВИКОН-02Р/ПК» с сенсорными мониторами стала намного комфортней.

Работу РСП по международным соглашениям с ливийцами курировали итальянские представители. Они также отмечали уникальность и большие возможности наших дефектоскопов. Технология изготовления рельсовых плетей, реализованная в Рас-Лануф, позволяет выпускать продукцию в строгом соответствии с существующими российскими и мировыми стандартами и сертифицирована немецким союзом сварочных предприятий DVS ZERT.

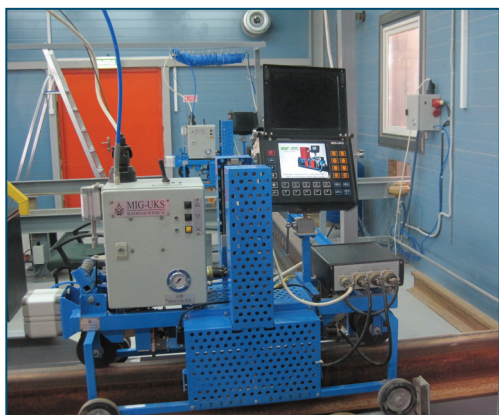


Рис. 2. Дефектоскопы МИГ-УКС готовы к работе



Рис. 3. Дефектоскопический комплекс «АВИКОН-02Р»/ ПК с сенсорным монитором

11 июня 2010 года в Ливии состоялось торжественное открытие рельсосварочного завода. Президент ОАО «РЖД» Владимир Иванович Якунин и руководитель «Ливийских железных дорог» Саид Рашид сварили первый

рельсовый стык. Далее этот стык прошел по всей технологической цепочке, включая пост дефектоскопии. Проверка стыка дефектоскопом МИГ-УКС показала, что стык бездефектный. На церемонии присутствовали более двухсот представителей железных дорог разных стран (Ливии, Италии, Турции, Китая и др.). Из-за большого количества желающих увидеть работу дефектоскопов процесс контроля пришлось демонстрировать несколько раз. Было много теле- и фоторепортеров, процесс снимали наши НТВ и «Вести 24», арабская Аль-Джазира и другие телекомпании.



*Рис.4. Демонстрация работы МИГ-УКС
комиссии*

Опыт проведения пуско-наладочных работ дефектоскопов в Ливии показал уникальность и высокий уровень наших разработок, в то же время позволил выявить слабые места и обозначить направление работ по дальнейшему повышению качества выпускаемых ОАО «Радиоавионика» дефектоскопов МИГ-УКС и «АВИКОН-02Р»/ПК. Хотя пока по известным причинам РСП в Ливии и не заработало, этот опыт будет полезен при следующих внедрениях наших дефектоскопов в других странах, которых, я уверен, будет немало.

НАШ ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ



Ю.А. ТРИФОНОВ
Старший инженер
НТК СНК

Рассмотрен вопрос о состоянии дополнительного профессионального образования в ОАО «Радиоавионика», его функциях и значении для подготовки профессиональных кадров в интересах ОАО «РЖД» и ОАО «Радиоавионика».

Во все времена цивилизованный мир считал главным богатством любого народа знание. Знание – это начало всех начал, первоисточник всего, это – достояние государства, его сила, могущество и процветание как духовное, так и материальное в их неразрывном единстве.

В таком же вопросе, как дефектоскопия, ценность знания имеет особое значение, поскольку слишком велика ответственность за возможные ошибки.

В недалеком прошлом контроль за безопасностью движения на железнодорожном транспорте сводился к визуальному осмотру обходчиком своего участка пути и визуальному поиску уже лопнувшего рельса. Такой метод контроля был субъективным, малоэффективным, малодостоверным и не мог заблаговременно предупредить о возможном ЧП. С появлением на железных дорогах современных дефектоскопов, использующих микропроцессорную технику, качество, достоверность и надежность контроля неизмеримо возросли и возникла необходимость серьезной подготовки большого числа специалистов новой формации.

Для решения этой задачи и был создан Центр подготовки НОУ ДПО «ЦП «Радиоавионика». Имели ли мы основания создать такой центр? Да, имели!

Во-первых, рельсовая дефектоскопия является одним из основных направлений в работе ОАО «Радиоавионика», и по решению ОАО «РЖД» наша организация является головным предприятием по изготовлению современных приборов для рельсовой дефектоскопии.

Во-вторых, данное направление возглавляют специалисты высшей квалификации, защитившие диссертации доктора и кандидата технических наук, обладающие солидным пакетом собственных патентов на изобретения, внедренных в разработки наших новых приборов, которые поставляются на железные дороги РФ и некоторых стран СНГ. Они являются авторами уникальной учебной литературы по рельсовой дефектоскопии, которая

завоевала популярность на всех железных дорогах РФ, и авторами многочисленных публикаций в журнале Российской Академии наук «Дефектоскопия» и в других технических журналах.

В-третьих, в наш коллектив пришли выпускники таких именитых вузов, как ПГУПС (ЛИИЖТ), БГТУ (Военмех), ГУАП (ЛИАП) и др., связавшие свою трудовую деятельность с рельсовой дефектоскопией. Они не только освоили эту специальность, но уже сумели внести свой вклад, показать свой подход к решению вопросов. Некоторые из них стали победителями Всероссийского конкурса «Инженер года». И как закономерный итог - заметно вырос служебный статус многих из них.

Возникает ещё один вопрос: Нужен ли нам такой центр? Да, нужен!

И тут необходимо отметить, что мощным побудительным мотивом создания Центра подготовки явилось серийное изготовление и поставка на железные дороги нашего современного дефектоскопического оборудования, которое требовало грамотного высококвалифицированного обслуживания, что обусловило, в свою очередь, необходимость резкого повышения профессионального уровня дефектоскопистов, способных наиболее эффективно использовать возможности, заложенные в новейшие наукоемкие дефектоскопы.

На железных дорогах поняли, что им самостоятельно решить эту проблему не удастся, и они обратились к нам с просьбой о помощи, в оказании которой и мы были очень заинтересованы, т.к. смогли передавать знания непосредственно тем, кто эксплуатировал в реальных условиях именно нашу технику, и потому процесс обучения носил конкретный, плодотворный для обеих сторон характер.

Вместе с тем, помимо «производственного» характера, учебный процесс способствовал профессиональному росту и наших специалистов, которые при подготовке к проведению лекций и практических занятий, многократно переосмысливая учебный материал, постигали глубины вопросов дефектоскопии, учились просто и доступно говорить о сложных вещах, что в свою очередь повышало качество проводимых занятий и способствовало наибольшему интересу к ним у слушателей.

С целью максимального использования учебного времени предусмотрено, что слушатели, прибывающие на курсы, имеют возможность с первых минут начать работу на персональном компьютере или на дефектоскопе. Предусмотрено также активное включение слушателей в учебный процесс, когда они на специальном занятии сами выступают с докладами, делятся своим опытом и предложениями, направленными на повышение эффективности работы участков дефектоскопии, по результатам докладов пишут статьи в специализированные технические журналы «Путь и путевое хозяйство», «В мире неразрушающего контроля» и в отраслевую газету «Гудок».

Среди авторов, проявивших профессиональную зрелость, можно отметить Ахремова А.А. (Свердловская ж.д., ПЧ-13), Метелкина А.П. (Горьковская ж.д., СВД-483), Федотова М.С. (Куйбышевская ж.д., ЦДМИ), Шведко Н.Д. (Дальневосточная ж.д., ЦДМИ) и др.

А если учесть, что Центр подготовки оборудован современными серийными дефектоскопами (включая дефектоскопы с колесной искательной системой), железнодорожным тупиком с рельсами, имеющими модели реальных дефектов, и современными компьютерами и в нем можно проводить занятия в любом формате, то становится понятным, в результате чего наш Центр приобрел высокий авторитет на всех железных дорогах РФ и в странах СНГ.

И ещё один вопрос: Состоялся ли наш центр? Однозначно, да!

За 9 лет работы Центра подготовки в нем обучились 2564 слушателя. Среди них представители всех 17 железных дорог РФ от Калининграда до Хабаровска, а также специалисты железных дорог из стран СНГ (Украина, Казахстан), ближнего зарубежья (Эстония), специалисты Московского, Харьковского, Бакинского и Петербургского метрополитенов и представители предприятий различных отраслей промышленности (Российского федерального ядерного центра ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ» им. Академика Е.И.Забабахина, Астраханского филиала ООО «Газпромтранс», Юкос «Транссервис», ЗАО «Энергопромресурс»). Распределение по железным дорогам количества слушателей, обучившихся в Центре подготовки, представлено на диаграмме (рис.1).

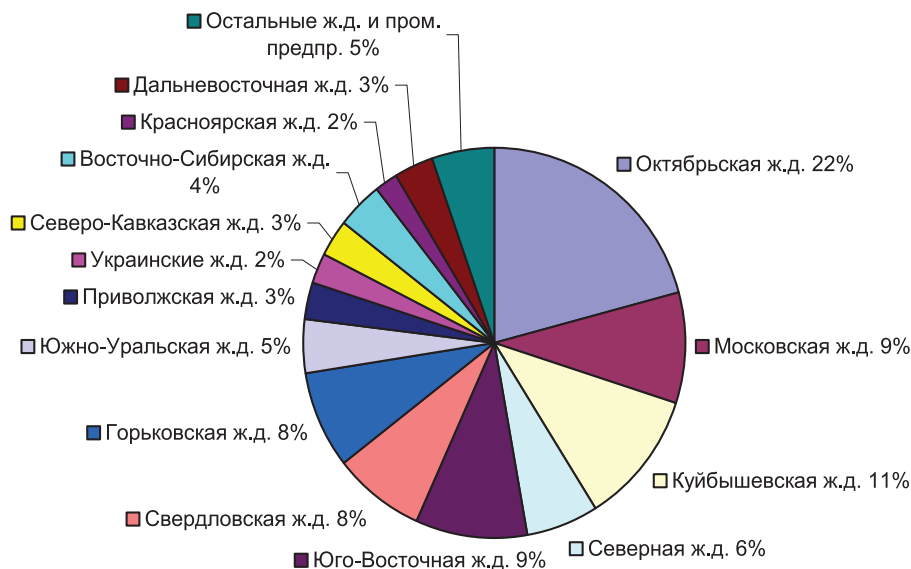


Рис. 1. Распределение специалистов железных дорог и промышленных предприятий, обучившихся в Центре подготовки на 01. 07. 2011 г.

К нам на обучение приезжают с радостью и уезжают от нас с теплыми чувствами и с благодарностью за полученные знания. В качестве иллюстрации можно привести одно из стихотворений наладчика цеха дефектоскопии ПЧ-31 Северной ж.д., члена Союза писателей России Илларионова Анатолия Дмитриевича:

Развертка А – развертка В

Нам Марков знания давал,
И он не зря преподавал,
Он поменял в моей судьбе
Развертку А с разверткой В.
За перегоним – перегон,
То РДМ, то АВИКОН,
И регистратор вредный,
И расшифровщик бедный.
Конечно, примешь двести грамм,
И сразу суть дефектограмм,
На первый взгляд, не так сложна,
Тут очень практика важна.
Работая по мере сил,
Я столько лет по шпалам топал.
Дефектоскоп меня кормил,

Пегас лишь крылышками хлопал.
Но это шутки все, друзья,
Я думаю, совсем не зря
Мы посетили Петербург,
Вникая в каждый ультразвук...
Разъедемся, из дальних мест
Мы вспомним это время снова.
Спасибо, Ольга Чернышова,
Екатерина Кузнецова,
За каждый тест!
Теперь навек в моей судьбе
Развертка А,
Развертка В.
Нам Марков знания давал,
И он не зря преподавал.

Но было бы несправедливо не заметить ещё и дополнительную функцию (дополнительную ли?) ЦП «Радиоавионика» – подготовку высококвалифицированных кадров для нужд нашего предприятия, которая происходит параллельно с процессом обучения слушателей.

Здесь, прежде всего, надо отметить, что участие в учебном процессе способствует активному развитию интеллекта, шлифует логику мышления, совершенствует культуру речи, вырабатывает навыки владения вниманием аудитории (а в нашем случае дополнительную сложность представляет разновозрастной состав слушателей, рис.2), вырабатывает быструю реакцию на неожиданные вопросы, возникающие в ходе занятий, развивает способность держать в голове массу информации и заставляет интенсивно работать аналитический аппарат.

Сочетание всего этого придает качества, необходимые для тех, кто намерен претендовать на завоевание ученой степени. Таким образом, Центр подготовки выполняет функцию «предаспирантуры» и одновременно является учреждением подготовки высококвалифицированных кадров для нашего предприятия. И именно поэтому оценка деятельности Центра подготовки будет неполной, если мы не будем учитывать эту сторону, т.к. по своему су-

шеству она представляет собой явление более высокого уровня, чем то, что заявлено в Лицензии.

Центр подготовки для приезжающих слушателей олицетворяет собой ОАО «Радиоавионика». Понимая это и чувствуя за своей спиной предприятие, преподавательский состав старается не уронить его честь, относится с большой ответственностью к проведению каждого занятия и очень внимателен к запросам слушателей. Это касается и учебного процесса, и бытовых условий.



Рис.2. Во время лекции

которая оборудована кулером, холодильником, микроволновой печкой, по специальному заказу для слушателей привозят артезианскую воду, всегда в наличии кофе, чай, печенье, сахар. И все это для них бесплатно.

В докризисное время для всех групп слушателей регулярно организовывались бесплатные автобусные экскурсии по нашему прекрасному Санкт-Петербургу, и мы намерены их возобновить.

Проявлением положительных результатов работы Центра подготовки является также факт появления в технических журналах статей наших слушателей, о чем выше уже упоминалось, но отрадно, что многие статьи носят не просто констатирующий характер, а имеют аналитическую направленность и включают конкретные рекомендации по совершенствованию методов работы цехов дефектоскопии и центров диагностики, что представляет собой большую ценность. Опосредованно говорит в нашу пользу и то, что имеются примеры выдвижения наших слушателей на руководящие должности, а также то, что услуги нашего Центра имеют устойчивую востребованность на протяжении всех лет работы.



Рис.3. Электронная доска помогает провести лекционные занятия более интересно, наглядно и доступно для слушателей



Рис.4. Наши преподаватели

А все это – результат огромного труда преподавательского коллектива (рис.4) и, прежде всего, доктора технических наук - ректора Маркова Анатолия Аркадьевича, который имеет почти 40-летний опыт преподавания на кафедре «Методы и приборы неразрушающего контроля» в Петербургском Государственном Университете путей сообщения (ЛИИЖТ), пройдя за этот период последовательно все ступени роста: ассистент, преподаватель, доцент, профессор! Будучи у истоков создания НОУ ДПО «ЦП «Радиоавионики», А.А. Марков создал Учебную программу, учитывающую потребности первичных структур железных дорог, выбрал правильные направления обучения: «Расшифровка дефектограмм съёмных и мобильных средств дефектоскопии с ведением баз данных», «Ультразвуковой контроль сварных стыков рельсов», «Наладка и ремонт средств дефектоскопии рельсов», «Технические характеристики, функциональные возможности и особенности эксплуатации современных средств дефектоскопии». Кроме того, А.А. Марков разработал методические основы обучения, создал 3-х томный труд по рельсовой дефектоскопии и добился получения неоднократно подтвержденной Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга Лицензии на право осуществления образовательной деятельности по направлению «Эксплуатация современных средств дефектоскопии рельсов и других объектов железнодорожного транспорта» и «Микропроцессорная централизация и устройства бесперебойного питания средств железнодорожной автоматики и телемеханики». Невозможно учесть, сколько сил он затратил на решение организационных вопросов, без которых была бы невозможна деятельность Центра подготовки.

В заключение, необходимо выразить благодарность руководству ОАО «Радиоавионика», которое, понимая важность для предприятия такой структуры, как Центр подготовки, создало ему благоприятные условия для работы.

P.S.: Всех, кто заинтересован в получении новых знаний в области неразрушающего контроля, мы будем рады видеть в нашем Центре подготовки. План проведения занятий можно найти на нашем сайте: **Avionika – ndt.com** С нами можно связаться по тел. (812) 458-67-37 или по ж. д. тел.: (912) 3-67-37.

САЙТ ДЕФЕКТОСКОПИСТОВ – ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ



В.О. ФЕДОТОВ
Инженер НТЦ
РСиП СНК

В статье рассмотрены содержание и особенности основных разделов официального сайта подразделения НТК СНК ОАО «Радиоавионика».

7 июня 2006 года в НТК СНК (подразделение ОАО «Радиоавионика», занимающееся разработкой средств неразрушающего контроля) успешно начал свою работу официальный веб-сайт подразделения по адресу <http://avionika-ndt.com>.

Для чего он был создан? Начнем с того, чем Интернет является сегодня и что он позволяет своим пользователям. Интернет (сеть Интернет, Internet) – глобальная информационная сеть, части которой логически взаимосвязаны друг с другом посредством единого адресного пространства, основанного на протоколе TCP/IP.

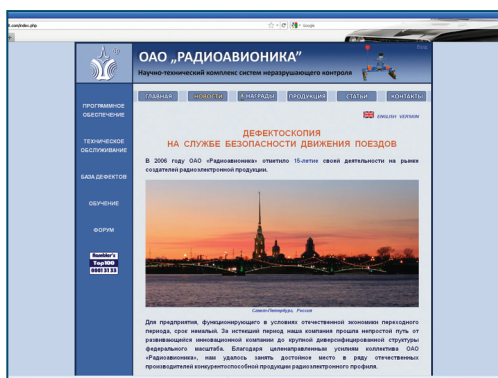


Рис. 1. Главная страница сайта <http://avionika-ndt.com>

Сегодня Интернет стал единой информационной средой, объединяющей людей всей планеты и позволяющей находить клиентов и поддерживать связь с коллегами за рубежом, не выезжая в дорогостоящие командировки и на выставочные мероприятия. Предоставляя возможность быстрого поиска информации, организации и проведения конференций, выставок и интервью, в настоящее время Интернет является основным средством корпоративного общения, уступая пока телефону.

Учитывая это, неудивительно, что сотрудники НТК СНК проявили внимание к предоставляющимся возможностям Всемирной сети.

В 2006 г. перед разработчиками сайта (возглавлял разработку ведущий программист НТК СНК Кескинов М.В.) была поставлена задача – своевременное освещение знаковых событий в самой организации в сфере дефектоскопии и разработки средств неразрушающего контроля рельсов в России. Сайт содержит 9 разделов. Давайте совершим по ним небольшую экскурсию.

Где сегодня можно найти сведения об интересующей вас организации? Возможно, зайдя на сайт, лично посетив офис, выставочное мероприя-

тие или познакомившись с рекламным проспектом, вы сможете отыскать нужную информацию. Но отображена ли в найденном материале реальная жизнь предприятия, ведь известно, что любая информация имеет тенденцию устаревать? Чтобы быть в курсе событий, был разработан динамический раздел «НОВОСТИ». Здесь содержится последняя информация об участии руководства и специалистов НТК СНК ОАО «Радиоавионика» в совещаниях, конференциях, форумах, выставках и других мероприятиях, связанных с областью деятельности подразделения. «НОВОСТИ» позволяют «держать руку на пульсе» организации и сообщают о проделанной работе, успехах в обучении, участии в актуальных мероприятиях.

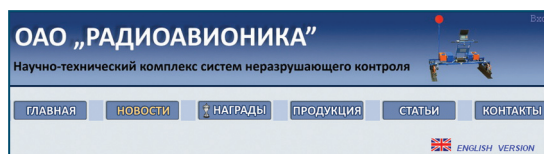


Рис. 2. Основные разделы сайта



Рис. 3. Директор НТК СНК Марков А.А. демонстрирует колесный УЗ преобразователь вице-президенту ОАО «РЖД» Воробьеву В.Б. (сентябрь 2010)

Как обычно признают заслуги человека? Выражая ему публичную благодарность. Блок «НАГРАДЫ» представляет посетителям список различных наград, полученных на различных



Рис. 4. Сертификат и памятный сувенир за участие в программе 10-й Европейской конференции по неразрушающему контролю

выставках, конференциях и отражающих достижения организации в области дефектоскопии. Сегодня в нем содержится 17 дипломов, отмечающих активное участие НТК СНК в дефектоскопической жизни России, а также сертификаты профессиональных инженеров – символ признания успехов наших коллег.

В подразделении средств неразрушающего контроля ОАО «Радиоавионика» главным показателем деятельности является разработка и сопровождение конечной продукции – реальных приборов, которые сегодня работают на всех железных дорогах ОАО «РЖД», а также за рубежом. Как выглядят современные рельсовые дефектоскопы? Как они работают? Как эти при-

боры помогают поддерживать безопасность движения поездов? Раздел «ПРОДУКЦИЯ» отвечает на эти вопросы. Именно в этой части сайта у посетителя есть возможность лично познакомиться с продукцией НТК СНК. Помимо перечня приборов серии «АВИКОН», оборудования и программного обеспечения, разработанных и произведенных нашей организацией и сотрудничающими с ней предприятиями и фирмами, сайт предоставляет расширенное описание характеристик и принципов работы продуктов, в некоторых случаях с подробными схемами функционирования.



Рис. 5. Работа с дефектоскопом АВИКОН-11

Встречаетесь ли вы с дефектоскопией в своей повседневной жизни? Многие даже не представляют, что это такое. А чем она занимается? Что такое неразрушающий контроль? Какие задачи сегодня ставит руководство железных дорог для безопасности движения и над решением каких задач сегодня трудятся дефектоскописты и разработчики в России, а также за рубежом? В разделе «СТАТЬИ» содержатся публикации сотрудников НТК СНК, изданные в различных газетах и научно-популярных и производственных изданиях (журнал «Дефектоскопия» Российской Академии Наук, «В мире НК», отраслевой журнал ОАО «РЖД» «Путь и путевое хозяйство» и др.). В Учебный центр «Радиоавионики» на курсы повышения квалификации каждый год приезжают специалисты с железных дорог. Каждый из них обладает практическим опытом в области дефектоскопии рельсов, в связи с чем особенно интересные материалы выкладываются на веб-сайт в рубрику «Статьи специалистов железных дорог».

Сейчас на сайте содержится 23 статьи разработчиков НТК СНК и 26 статей специалистов железных дорог России. Порой оформление статьи для сайта может отнимать достаточное количество времени, поэтому имеет место ситуация, когда статья появляется на сайте через несколько дней или недель после публикации ее в печатном виде или короткой заметки в новостном разделе сайта. Помимо оформления отдельных статей в различных научных сборниках, коллектив НТК СНК пишет и издает книги по актуальным вопросам рельсовой дефектоскопии. В помощь специалистам по дефектоскопии рельсов, студентам и выпускникам железнодорожных ВУЗов, техникумов и колледжей выпущено 10 книг и буклетов. Практические пособия написаны простым и доступным языком, помогая освоить и закре-

пить основные знания в области устройства и работы современных средств неразрушающего контроля рельсов. Подробная информация обо всех этих изданиях содержится в разделе «КНИГИ».

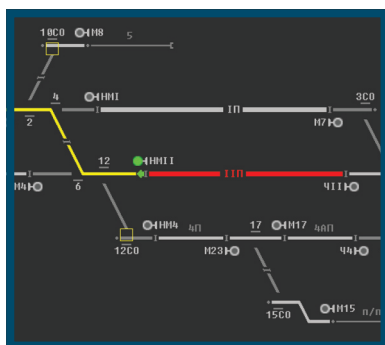


Рис. 6. Публикации авторов НТК СНК

при эксплуатации дефектоскопов, а также на усовершенствование текущих версий программ для их стабильной работы. Как связаться со всеми специалистами, эксплуатирующими эти технические средства, и передать им новые версии программ? В помощь пользователям нашей техники был создан раздел «ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ», предоставляющий программы для эксплуатируемых на железных дорогах серийных образцов дефектоскопов. Также здесь можно ознакомиться с бесплатными и демонстрационными версиями программ, которые используются при подготовке специалистов в Учебном центре «Радиоавионика». Ремонт вышедшей из строя техники обычно идет быстрее, если под рукой есть инструкция по устранению неполадок. «ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ» содержит рекомендации по диагностике неисправностей, электрические схемы отдельных узлов дефектоскопов и другую полезную информацию для специалистов, самостоятельно производящих ремонт техники ОАО «Радиоавионика». В разделе «ОБУЧЕНИЕ» публикуется график проведения занятий в Центре подготовки «Радиоавионика», содержание курсов и другая информация по подготовке специалистов для работы с новой дефектоскопической техникой, расшифровке дефектограмм, проводимой сотрудниками центра.

Для прямого общения между разработчиками и пользователями нашей продукции был создан раздел «ФОРУМ». Но для получения оперативной информации предпочтительнее и надежнее все же будет обычный телефонный звонок. Также с 2007 года по адресу <http://radioavionica.ru> был зарегистрирован официальный сайт ОАО «Радиоавионика». На нем собраны материалы по всем четырем направлениям деятельности организации. Часть информации НТК СНК дублируется теперь и на нем. Сайт НТК СНК не отличается профессиональным красочным дизайном и обилием рекламы, которыми обладают современные сайты. Но информация, публикуемая на нем, оперативно отражает весь комплекс работ этого подразделения ОАО «Радиоавионика» в своей профессиональной сфере – дефектоскопии и безопасности движения поездов.

Сегодняшние приборы строятся на основе микропроцессоров и промышленных компьютеров, программная и аппаратная среда которых очень сложна. Никто не застрахован от ошибок. Программистам и электронщикам НТК СНК приходится по много времени отводить на решение проблем, возникающих



ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ АВТОМАТИКА

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИСТОРИИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НТК ЖАТ



В.И. РЯПОЛОВ

*Директор НТК ЖАТ
ОАО «Радиоавионика»*



А.В. ГРОШЕВ

*Директор НТЦ УВК
ОАО «Радиоавионика»,
к.т.н.*

В статье представлены основные этапы создания систем электрической централизации на базе УВК РА, а также определены направления работ научно-технического комплекса железнодорожной автоматики ОАО «Радиоавионика» по дальнейшему развитию этих систем.

В начале 1996г. руководство МПС РФ объявило конкурс на создание микропроцессорного управляющего вычислительного комплекса для систем железнодорожной автоматики. Учитывая то обстоятельство, что ряд специалистов отдела специализированных вычислительных систем имел опыт по разработке и внедрению отказоустойчивых безопасных управляющих систем, руководство ОАО «Радиоавионика» предложило им принять участие в этом конкурсе. Целью такой работы являлась замена устаревших релейных систем контроля и управления движением поездов на системы нового поколения, основу которых составляли бы микропроцессорные отказоустойчивые безопасные вычислительные комплексы (УВК).

В кратчайшие сроки были подготовлены предложения по технической реализации УВК, осуществлен выбор базовой операционной системы, создано техническое описание, определены экономические показатели, а также производственные мощности для изготовления УВК. В конкурсе приняло участие несколько организаций, в том числе и институт управляющих машин. Объем представленных данных, и, в первую очередь, предложенная концепция достижения необходимого уровня безопасности и отказоустойчивости в работе УВК склонила чашу весов в пользу ОАО «Радиоавионика». С этого времени, собственно, и началась работа по созданию тиражируемо-

го УВК разработки ОАО «Радиоавионика» (УВК РА), являющегося основой систем электрической централизации и автоблокировки.

Первая отечественная система электрической централизации стрелок и сигналов на базе УВК РА с интегрированными функциями микропроцессорной автоблокировки (ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ), спроектированная специалистами ОАО «Радиоавионика» совместно с отраслевым институтом «Гипротрансигналсвязь», была установлена в конце 1999г. на станции Новый Петергоф, где в течение 2000г. прошла опытную эксплуатацию. В 2001г. эта система была введена в постоянную эксплуатацию, что дало основание Департаменту сигнализации, централизации и блокировки МПС РФ принять решение о тиражировании подобных систем на сети железных дорог России и утвердить соответствующую программу внедрения.

Объемы и сложность поставленных задач потребовали существенного пополнения коллектива. Уже к 2001г. был сформирован научно-технический центр (НТЦ УВК), включавший отделы по разработке программного обеспечения, конструированию и разработке технических средств УВК РА. А уже примерно через год на базе НТЦ УВК был создан научно-технический комплекс железнодорожной автоматики и телемеханики (НТК ЖАТ), в котором, кроме программистов, разработчиков и конструкторов УВК РА, появились специалисты СЦБ (сигнализация, централизация, блокировка).

Создание НТК ЖАТ позволило существенно расширить фронт работ. В частности, это положило начало работ по разработке и внедрению совмещенной питающей установки, контрольно-согласующего устройства, был развернут комплекс работ по разработке, проектированию и сопровождению систем на базе УВК РА, которые могут применяться на железнодорожных станциях с поездными и маневровыми передвижениями (малые станции – до 30 стрелок, средние - от 30 до 70 стрелок, крупные – от 70 до 400 стрелок).

Система ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ на базе УВК РА осуществляет в реальном времени сбор, обработку, хранение информации о текущем состоянии объектов централизации. На основании полученной информации реализуются технологические алгоритмы централизованного управления станционными напольными объектами с формированием и выдачей управляющих воздействий. Архитектура УВК РА основывается на трехканальной структуре и использовании электронных модулей из унифицированного ряда специализированных модулей собственной разработки.

Наличие трехканальной архитектуры УВК РА, использование межканальных связей, принципа «мягкой» синхронизации между каналами, наличие в модулях встроенных элементов контроля позволяет обеспечить отказоустойчивое и безопасное функционирование системы под управлением УВК РА.

Основу УВК РА составляют следующие входящие в его состав устройства:

- центральное постовое устройство (ЦПУ);
- устройство связи с объектом управления (УСО);
- рабочее место дежурного по станции (РМ ДСП).

ЦПУ предназначен для реализации алгоритмов централизации и автоблокировки, контроля и управления УСО, а также для взаимодействия с РМ ДСП. УСО обеспечивает сопряжение вычислительного ядра комплекса – ЦПУ – с объектами низовой и локальной автоматики станций и перегонов при выполнении требований по безопасности и безотказности. Взаимодействие УСО с объектами контроля и управления осуществляется через релейную часть системы путем выдачи управляющих воздействий (на обмотки реле 1-го класса надежности) и опроса источников информации (контактов реле). С помощью РМ ДСП осуществляется:

- визуальный контроль поездного положения на станции и прилегающих перегонах;
- контроль состояния напольного оборудования;
- управление маршрутами и отдельными напольными объектами;
- сигнализация неисправности системы.

В целях обеспечения надежного и качественного электропитания УВК РА и устройств железнодорожной автоматики, в НТК ЖАТ разработана совмещенная питающая установка (СПУ) на базе устройств бесперебойного питания. СПУ обеспечивает подключение к трем независимым фидерам электроснабжения или двум фидерам и дизель - генератору и может применяться для электропитания микропроцессорных систем типа ЭЦ-ЕМ, МПЦ-2, релейных систем электрической централизации, систем автоблокировки АБТЦ-ЕМ, АБТЦ-М, АБТЦ. Средства встроенного контроля позволяют контролировать параметры тока, напряжения, температуры, в СПУ реализована увязка с системами верхнего уровня. В настоящее время на железных дорогах России внедрены более двухсот СПУ.

Важной составляющей систем ЭЦ-ЕМ на базе УВК РА является контрольно-связующее устройство (КСУ), которое обеспечивает сопряжение с системами верхнего уровня, сбор, регистрацию и отображение диагностической информации, формирование архивов. На настоящий момент на железных дорогах России системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ внедрены более чем на 90 ж.д. станциях. Следует отметить, что на протяжении всего десятилетия, в течение которого ОАО «Радиоавионика» поставляет системы электрической централизации, аппаратно-программные средства постоянно совершенствуются, что позволяет специалистам НТК ЖАТ улучшать технико-экономические показатели своих систем, сохраняя тем самым их конкурентоспособность.

В установленных системах ЭЦ-ЕМ на первых трех станциях (Новый Петергоф, Жихарево, Назия) в качестве контроллеров использовались микропроцессорные блоки в стандарте микро-РС, в которых располагались платы микроконтроллера, ОЗУ, а также плата сопряжения, обеспечивающая внешние связи. Как показал опыт, такое исполнение контроллеров не позволяло без существенных конструктивных доработок добиться устойчивой работы устройства в целом в условиях электромагнитных помех. Кроме того, явно отсутствовал запас по производительности вычислителей, что не позволяло увеличить количество используемых УСО, а, следовательно, препятствовало созданию систем для управления крупными станциями, для которых требовалась установка двух и более УСО, управляемых от одного ЦПУ.

Примерно в это же время (2002г.) со стороны МПС РФ был внесен ряд изменений в требования к электромагнитной совместимости (ЭМС). Появление более жестких требований привело к необходимости, наряду с разработкой нового контроллера, выполнить и доработку периферийных модулей сбора информации (МСИ), выходных усилителей (МБУ) в части повышения устойчивости к ЭМС.

В результате был разработан микропроцессорный модуль контроллера (МК) в стандарте Евромеханика 6U на базе процессора CPU 686 (CPU 686E), позволивший в дальнейшем приступить к решению проблем по управлению крупными станциями. Появившаяся при этом возможность установки МК непосредственно в блоке, в котором установлены периферийные модули, а также использование на уровне внешнего интерфейса дополнительных элементов защиты периферийных модулей привели к повышению помехоустойчивости и позволили решить проблемы по ЭМС в соответствии с новыми требованиями. Системы, в которых впервые были применены микропроцессорные модули типа МК (версия МК2), приняты в эксплуатацию на ст. Орехово и ст. Васкелово в 2004г.

К безусловным достижениям НТК ЖАТ следует отнести разработки, позволившие, с учетом достигнутого запаса по производительности, обеспечить управление крупными станциями. Причем в каждой из разработок, что уже тогда стало нормой для специалистов НТК ЖАТ, закладывается определенный запас для дальнейшего развития системы.

Так, например, на ст. Окуловка в установленной в 2006г. системе ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ используется УВК РА с двумя УСО, причем установленное программное обеспечение позволяет подключать до четырех УСО.

В 2008г. на ст. Рожино была запущена система, в которой в ЦПУ впервые был применен более совершенный модуль МК (версия МК3), превосходящий по производительности и функциональным возможностям МК2.

Одно из последних по времени достижений – это запуск в постоянную эксплуатацию в 2011г. системы на ст. Бологое (207 стрелок) с двумя зонами

управления и с использованием уже четырех УСО (при этом программное обеспечение позволяет осуществлять подключение до восьми УСО), управляемых от ЦПУ, реализованном на основе модулей МКЗ.

Также в качестве знаковых разработок следует выделить системы на базе УВК РА, установленные на ст. Гатчина в 2007г., где впервые использованы два связанных друг с другом УВК РА, на ст. Вязники в том же 2007г., где также впервые одно из УСО установлено на удалении нескольких километров (так называемое «удаленное» УСО).

Определенным этапом работ по усовершенствованию УВК РА, а, следовательно, и систем ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ в целом, следует считать, разработку УСО для бесконтактного управления огнями светофоров и стрелочными приводами (УСО-БК). Внедрение УСО-БК позволяет существенно сократить количество используемых в системе реле, повысить надежность и улучшить эксплуатационные характеристики системы. Запуск УСО-БК в опытную эксплуатацию осуществлен в июне 2011г. на ст. Молодежная Малой Октябрьской ж.д. В настоящее время проводятся работы по расширению опытной эксплуатации УСО-БК (использование двух и более УСО-БК).

Системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ доказали свою эффективность, что подтверждается высокими показателями надежности: количество отказов на одну стрелку (по данным ЦШ от 2009г.) в 8 раз меньше, чем в релейных системах.

На настоящий момент основная направленность проводимых специалистами НТК ЖАТ работ связана с расширением функциональных возможностей систем управления, сокращением времени их ввода в эксплуатацию, сокращением эксплуатационных расходов, что позволит сохранять конкурентоспособность систем и в дальнейшем. В этом плане следует отметить работы, которые требуется выполнить в самое ближайшее время.

1. Внедрение новых модификаций модулей микропроцессорных контроллеров (МК4 – в ЦПУ, МКЗ – в УСО), обеспечивающих возможность расширения функций за счет наличия дополнительного числа интерфейсов при требуемой производительности вычислительных устройств.
2. Увязка систем ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ соседних станций между собой, увязка систем ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ с системами автоматического управления тормозами САУТ, системой интервального регулирования ИТАРУС, маневровой локомотивной сигнализацией МАЛС.
3. Применение тестирующего комплекса разработки НТК ЖАТ, существенно снижающего объем и трудоемкость проверок взаимозависимостей на объекте при вводе систем в эксплуатацию, позволяющего обеспечить высокое качество испытаний в заводских условиях, оперативно выявлять и устранять возможные проектные ошибки, в том числе ошибки про-

граммного обеспечения, что в конечном итоге позволяет значительно сократить время ввода системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ в эксплуатацию.

4. Внедрение контрольно-согласующего устройства КСУ РА с требованиями по безопасности, предъявляемыми к увязке с системами диспетчерского контроля ДК, централизации ДЦ.
5. Разработка и внедрение бесконтактного устройства связи с объектом для рельсовых цепей и кодирования (УСО РЦК).
6. Создание комплексной системы управления движением поездов КСАУД на основе данных спутниковой навигации и цифрового радиоканала:
 - а) радиоблокцентр;
 - б) интегрированный комплекс связи, навигации и обработки информации;
 - в) система оповещения работающих на путях;
 - г) система автодиспетчер.

Литература:

1. «Концепция повышения безопасности движения на основе применения на железных дорогах многофункциональных комплексных систем регулирования движением поездов», М., 2006г.
2. Бершадская Т.Н. «О повышении влияния средств ЖАТ на эффективность работы железнодорожного транспорта», сб. докл. «Транс-ЖАТ -2010», Ростов-на-Дону, 2010г.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ СОПРЯЖЕНИИ ДВУХКАНАЛЬНЫХ И ТРЕХКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ



В.В. НАВОЙЦЕВ
Ведущий инженер



Л.Н. РОМАНОВ
*к.т.н., директор
НТЦ ПО СЖА*



И.А. ЯКСОН
Начальник отдела

В статье рассматриваются принципы увязки систем различного архитектурного построения между собой. Приводятся примеры цифровых систем железнодорожной автоматики. Особое внимание уделяется алгоритмам обработки данных при сопряжении подобных систем. Приводятся примеры применения приведенных подходов как в аппаратно-программных комплексах ОАО «Радиоавионика», так и в других системах. Актуальность статьи связана в первую очередь с необходимостью сопряжения системы ЭЦ-ЕМ с различными системами сторонних производителей.

Внедрение микропроцессорных систем централизации вместо релейных систем на сети железных дорог Российской Федерации приносит целый ряд преимуществ, но, вместе с тем, вызывает необходимость увязки систем различного архитектурного построения между собой.

Рассмотрим существующие на рынке варианты архитектуры. К первому варианту можно отнести системы, построенные по принципу «2 из 3». Решение в данных системах принимается по принципу большинства, в нормальном состоянии все три канала работают параллельно и принимают одинаковые решения на основании одинаковых данных по одинаковым алгоритмам. В случае, если решение одного из каналов отличается от решений двух других, ситуация классифицируется как системный сбой (отказ канала) и данный канал отключается двумя другими. Система продолжает работать в двухканальном режиме, при этом диагностируется ее предотказное состояние. В случае, если решения двух оставшихся каналов не совпадают между собой, система переходит в состояние защитного отказа. Примером данного архитектурного построения является ЭЦ-ЕМ производства ОАО «Радиоавионика».

Ко второму варианту можно отнести системы с аппаратно-программным дублированием. Принятие решения в таких системах осуществляется по результатам обработки данных двумя независимыми каналами. Если принятые каналами решения не совпадают, система переходит в состояние защитного отказа.

Третий вариант - системы с аппаратно-программным дублированием и резервированием («2+2»). Данный вариант построения является наиболее распространенным. Принятие решения осуществляется по результатам обработки задачи двумя парами независимых каналов. Если решения, принятые каналами внутри пары, не совпадают, данная пара считается неработоспособной, и система продолжает работу по другой паре каналов. Если решение одной пары каналов отличается от решения другой пары (ситуация двойного отказа), система переходит в состояние защитного отказа. Примером данного архитектурного построения является система МПЦ EBI Lock-950 производства Bombardier, цифровой модуль контроля рельсовых цепей (ЦМ КРЦ) производства НПП «Стальэнерго», АБТЦ-М производства ОАО «НИИАС».

Если в отказобезопасной и отказоустойчивой системе требуется масштабирование или сопряжение дублированных и троированных блоков (ТБ), то возникает задача соединения блоков каналами связи. При этом канал связи наследует требования по отказобезопасности и отказоустойчивости к блокам. Поэтому соединение блоков должно осуществляться каналами не меньшей степени резервированности. Таким образом, для дублированных систем количество связей не должно быть меньше 2, для троированных – 3. При этом при обработке данных, полученных по каналам связи, вне зависимости от их типа и физической структуры, должны быть соблюдены следующие принципы:

- 1) Недопустимо принятие решения на основании данных, полученных от одного источника;
- 2) Недопустимо принятие решения на основании данных, полученных одним приемником.

То есть, как в дублированных, так и в троированных системах ответственные входные данные должны обрабатываться по принципу «2 из 3» или «2 из 2».

1. Соединение троированных блоков.

Пример соединения двух троированных блоков представлен на Рисунке 1. При таком соединении система двух ТБ будет успешно парировать любой одиночный отказ, а также парные «симметричные» отказы (отказ одноименных субблоков обоих ТБ). При ассиметричном отказе произойдет отказ системы в целом, хотя каждый ТБ сохранит работоспособность. Если ТБ в системе несколько, то любой второй отказ субблока с вероятностью 2/3 будет ассиметричным и приведет к деградации (потере части функций)

системы. Такая зависимость независимых по физической сути отказов снижает отказоустойчивость системы в целом и приводит к усложнению ее обслуживания, особенно при территориальном разнесении ТБ системы.

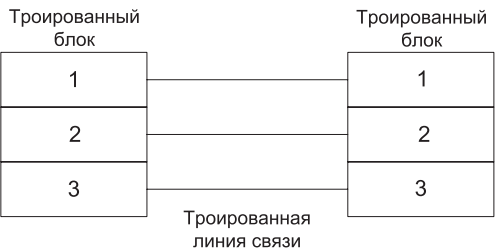


Рисунок 1. Простое трехточечное соединение двух ТБ

Для повышения устойчивости системы к асимметричным отказам используется дополнительное резервирование каналов связи. Исходя из соображений, что симметричные архитектуры наиболее устойчивы к отказам, рассмотрим 6 - точечное соединение, например, применяемое в архитектуре УВК РА для соединения ЦПУ и РМ ДСП, представленное на Рисунке 2.

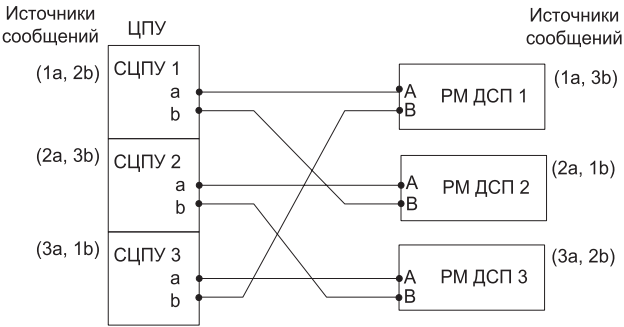


Рисунок 2. Обмен сообщениями ЦПУ – РМ ДСП

Отказы РМ ДСП и отказы СЦПУ при таком соединении полностью независимы. Большее резервирование каналов связи является избыточным и ничего не дает для повышения отказоустойчивости системы в целом. 6 – точечное соединение логически независимо от типа каналов связи, которые могут быть чисто радиальными, магистральными (например, магистраль RS-422) или кольцевыми. Важно то, что управление каналами зависит от их типа, а обработка данных – нет.

Для унификации обработки необходимо, чтобы 6-точечная схема обладала симметрией относительно блоков. Матрица соединения ЦПУ-РМ-ДСП не является симметричной, поэтому обработка данных в ЦПУ и РМ-ДСП производится по разным алгоритмам.

Рассмотрим возможные варианты соединений, для чего обозначим условно интерфейсы субблоков (точки подключения) как «а» и «b». Представим схему Рисунка 2 в виде матрицы соединений, где строки соответствуют левому ТБ, а столбцы – правому ТБ. Всего возможно 12 вариантов заполнения

ния матрицы и соответствующих им 12 различных схем соединения. Из них только 6 являются симметричными. Пример симметричного подключения приведен на Рисунке 3.

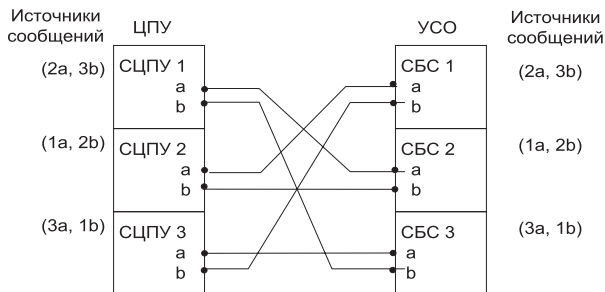


Рисунок 3. Обмен сообщениями ЦПУ – УСО.

После приема данных и обмена между собой все субблоки будут иметь все 6 сообщений, что гарантирует принятие одинакового решения (один алгоритм и одинаковые исходные данные). При этом субблоки обоих ТБ получают сообщения из одноименных источников и могут обработать их по одному, независимо от типа ТБ. Минимальное допустимое количество корректных одинаковых принятых пакетов за 1 рабочий цикл – 2, и это должна быть пара пакетов от разных источников-субблоков одного ТБ, полученная разными приемниками-субблоками другого. Всего таких пар может быть 6: (1а-2а), (2а-3а), (1а-3а), (1а-3в), (2а-1в) и (3а-2в). При наличии более 2 корректных пакетов за цикл их валидность проверяется в соответствии с их входением в валидные пары пакетов.

2. Соединение дублированных блоков

Аналогично пункту 1, для соединения дублированных блоков целесообразно применение схемы 4-точечного подключения, приведенной на Рисунке 4. При таком подключении все субблоки после обмена данными между собой будут иметь все 4 сообщения, подключение симметрично, и структурой соединения обеспечивается одинаковая обработка данных по одинаковым алгоритмам. Валидными с точки зрения разных источников и приемников будут пары (1а-2а) и (1б-2б).

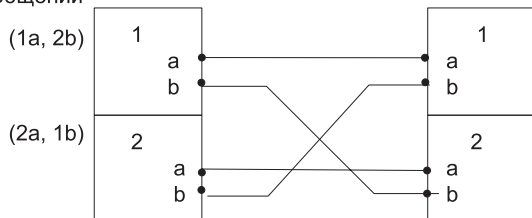
3. Соединение дублированных и троированных блоков

При соединении блоков разной топологии принципы принятия решения должны быть сохранены как элемент концепции обеспечения безопасности.

Обозначим субблоки ТБ как 1-2-3, а субблоки дублированного – как А и В. При этом в роли субблоков ТБ могут выступать субблоки центрального постового устройства (СЦПУ) ЭЦ-ЕМ, в роли субблоков дублированного – как

коммуникационные процессоры (КП) ЭЦ-ЕМ на базе модулей МК-3, так и субблоки конечного потребителя данных (внешней по отношению к ЭЦ-ЕМ дублированной системы).

Источники
сообщений



Источники
сообщений

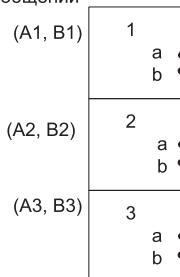
(1a, 2b)

(2a, 1b)

Рисунок 4. Соединение дублированных блоков

Рисунок 5. Соединение дублированного и троированного блоков

Источники
сообщений



Источники
сообщений

(1a, 2a, 3a)

(1b, 2b, 3b)

При подобной схеме соединения минимально необходимыми для функционирования с точки зрения ТБ будут считаться любые идентичные пары сообщений (A1-B2), (A1-B3), (A2-B1), (A2-B3), (A3-B1), (A3-B2). Для дублированного блока допустимыми являются комбинации (1a-2b), (1a-3b), (2a-1b), (2a-3b), (3a-1b), (3a-2b). При подобном обозначении источников данных возможно использование одного и того же алгоритма обработки как в дублированных, так и в троированных блоках.

Необходимо отметить, что реализация подобного соединения дублированного и троированного блоков в рамках УВК РА позволит обеспечить отказоустойчивое соединение с дублированными системами разработки сторонних производителей.

Литература:

1. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира, под ред. Грегора Теера, Сергея Власенко. ISBN 978-5-89277-098-9, М.: «Интекст», 2010, 496 стр.
2. Европейский стандарт CENELEC EN 50159-1. Применения на железнодорожном транспорте - Системы связи, сигнализации и обработки данных. Часть 1: Обеспечение безопасности при связи по закрытым системам передачи. ICS35.240.60; 45.020. 1998, 16 стр.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОПУСТИМОГО С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЗОТКАЗКАЗНОГО ПАРИРОВАНИЯ ОДНОКРАТНЫХ И ПЕРИОДИЧЕСКИХ СБОЕВ



М.А. БУТУЗОВ

*Старший научный
сотрудник ЦКЖТ
ПГУПС*



Л.Н. РОМАНОВ

*к.т.н., директор НТЦ
ПО СЖА*



И.А. ЯКСОН

Начальник отдела

В статье рассматриваются подходы к построению систем, сбалансированных с точки зрения отказоустойчивости и отказобезопасности, в условиях невозможности полного исключения ситуации возникновения одиночных и периодических сбоев аппаратных средств. Оценивается влияние таких параметров, как частота возникновения сбоев, их периодичность. Приводятся примеры реализации аппаратно-программных комплексов ЭЦ-ЕМ ОАО «Радиоавионика», использующие различные подходы в зависимости от требований по безопасности.

Современные аппаратные средства микропроцессорных систем обладают высокой надежностью, и появление случайных сбоев в исправном аппаратном комплексе достаточно маловероятно. Однако, при взаимодействии нескольких систем между собой возможны случаи искажения данных при передаче по каналам связи, возникновение помех и наведенных сигналов, а также штатные ситуации асинхронности рабочих циклов сопряженных систем, приводящие к кратковременным нарушениям связи между ними, но не являющиеся критичными с точки зрения безопасности. Такие ситуации должны быть отделены от потенциально опасных ситуаций, связанных с неисправностью аппаратных средств, ошибками монтажа, приводящими к выдаче ложных сигналов, и других ситуаций, требующих перевода части или всей системы в необратимое безопасное состояние (защитный отказ). Частое повторение сбоев при их парировании может привести к накоплению необнаруженных отказов, что также недопустимо с точки зрения отказобезопасности.

Задача определения допустимости парирования одиночных и серийных сбоев систем может быть решена только с учетом статистики событий на определенном временном этапе. При рассмотрении методов обработки (и необходимости этой обработки) статистики необходимо определить параметры и последствия потоков сбоев по отношению к функциям устройства и необходимость механизмов их коррекции для обеспечения показателей работоспособности. Возможны следующие подходы к трактовке сбоев систем:

1. При обнаружении одиночного сбоя в какой-либо части системы считается, что эта часть системы или система в целом неработоспособна и должна быть переведена в защитное состояние. Такой подход оправдан в случаях, если:

- а. одиночный сбой однозначно свидетельствует о неисправности в работе оборудования и невозможности продолжения функционирования системы (сбой в работе процессора, искажение исполняемого кода программного модуля в ROM);
- б. одиночный сбой модуля выходных усилителей может привести к появлению «ложной единицы» на управляющем выходе, что, в свою очередь, может привести к ложному срабатыванию управляющего реле.

В первом случае необходим перевод всей системы в необратимое защитное состояние, во втором из функционирования выводится только та часть системы (модуль входных усилителей), в которой обнаружен сбой.

2. При накоплении m сбоев за все время работы системы система или ее часть переводится в защитное состояние. Такой подход может быть использован в случаях, когда возникновение даже одиночного сбоя подобного рода по внутренним причинам является признаком потенциально опасной ситуации. При этом возникновение сбоя может быть связано с внешними причинами, и сбой однозначно парируется средствами системы. В этом случае первые $m-1$ сбоев парируются и фиксируются системой, при возникновении m -го система или ее часть, в которой обнаружен сбой, переводится в безопасное необратимое состояние. По сравнению с п. 1 такой подход, с одной стороны, снижает отказобезопасность в случае наличия неисправности в системе, увеличивая время реагирования, с другой стороны, значительно повышает отказоустойчивость в системах, рассчитанных на длительное функционирование без перезапуска (таким, как системы ЭЦ-ЕМ), поэтому в ЭЦ-ЕМ не применяется.

3. При накоплении m последовательных сбоев система или ее часть переводится в защитное состояние. Первый же бессбойный цикл прерывает серию, и счетчик сбоев сбрасывается в 0. Такой подход прост в реализации, но делает систему нечувствительной к периодическим сбоям, возможно представляющим опасность для функционирования системы.

4. В случае накопления m сбоев система или ее часть переводится в защитное состояние. При отсутствии сбоев на протяжении определенного интервала времени счетчик сбоев сбрасывается. Используется в случаях, когда восстановление функционирования системы после его прекращения достаточно трудоемко, а возникновение сбоя может быть вызвано либо внешними причинами, либо серьезным дефектом системы, который может быть легко обнаружен. В ЭЦ-ЕМ этот способ используется при обеспечении безопасного необратимого состояния (БНС) модулей СБС и СЦПУ: при достижении счетчиком перезагрузок модуля порогового значения (3) модуль и соответствующий канал системы переходит в БНС, вывод из которого требует вмешательства обслуживающего персонала. При значении счетчика перезагрузок меньше порогового, после прохождения некоторого времени (100 секунд) бессбойной работы счетчик перезагрузок сбрасывается в 0. Перезагрузка канала может быть вызвана как внутренними (сбой в работе системы), так и внешними (провал питания) причинами. Основным недостатком этого метода является отсутствие контроля распределения ошибок по времени, что может привести к увеличению времени обнаружения отказа.

5. При накоплении m сбоев за N циклов работы система или ее часть переводится в защитное состояние (алгоритмы « m - N » логики). Такой подход позволяет выявлять серии сбоев вне зависимости от их распределения в серии и разделять периодические и случайные серии сбоев. Подобный подход требует хранения «истории» сбоев за последние N циклов.

Данный способ характеризуется двумя параметрами: m – пороговое количество сбоев, и N – число рабочих циклов диагностической подсистемы. Отношение m/N определяет допустимый процент сбоев во время функционирования системы. N определяет время реакции на внешние события и отказы. Подход широко используется в ЭЦ-ЕМ, так как сочетает достаточную простоту реализации, гибкость настройки под параметры конкретной задачи и надежность выявления опасных для системы серий сбоев. На этом принципе построены не только алгоритмы выявления сбоев, но и процедуры обработки данных. В этом случае считывание задается значением $m=1$, и считывание более «опасных» данных (например, занятость перегона) приводит к «срабатыванию» алгоритма на первом же цикле считывания, а более «безопасные» данные (например, свободность перегона) обрабатываются как «бессбойное» функционирование, и будут переданы в ЦПУ только при условии сохранения таковых определенное число циклов. Необходимое количество циклов зависит от соотношения длительности цикла считывания и рабочего цикла ЦПУ. Другим примером использования алгоритмов m - N логики в ЭЦ-ЕМ является механизм «деградации-эволюции» системы при обнаружении ошибок ROM в ЦПУ и УСО, а также базы дан-

ных прикладного ПО. Так как ошибка может быть вызвана как искажением в оперативной памяти канала – источника данных, так и искажением данных при передаче, то при обнаружении такой ситуации производится программная процедура разрыва («деградации») межканальной связи с последующим ее восстановлением («эволюцией»). При эволюции производится полное сравнение исполняемого кода ПО каналов, позволяющее исключить ситуацию их искажения. При успешной эволюции «память» о сбое сохраняется на протяжении 20 рабочих циклов ЦПУ. При возникновении 5 сбоев за 20 рабочих циклов канал связи считается неисправным и переводится в БНС. При этом возможно продолжение функционирования системы в целом и канала системы в частности при сохранении связи канала со вторым «соседом». Ситуация перехода в БНС обеих межканальных связей одного канала системы трактуется как неработоспособное состояние канала. В этом случае $m = 5$, $N = 20$.

Тот же механизм используется при организации взаимодействия ЦПУ с периферийными устройствами (УСО), а также при приеме ответственных данных при сопряжении с внешними системами. При обнаружении 3 искаженных пакетов данных за 20 рабочих циклов канал связи, по которому пришли искаженные пакеты, блокируется, и в дальнейшем данные, приходящие по этому каналу, исключаются из рассмотрения. Для снятия блокировки необходимо отсутствие приема данных по каналу связи на протяжении 20 рабочих циклов, что трактуется как перезагрузка источника данных. Для этого случая выбраны параметры $m=3$ и $N=20$.

6. Результатам работы диагностических процедур присваиваются весовые коэффициенты. При этом:

- 1) в случае обнаружения сбоя к счетчику текущего состояния устройства прибавляется $E1$;
- 2) в случае безошибочного прохождения теста вычитается $E2$, пока счетчик не достигнет 0;
- 3) устанавливается порог m , превышение которого фиксируется как отказ.

Данный метод позволяет изменять время реакции на возникновение потенциально опасного состояния в зависимости от распределения потока сбоев и разделяет мгновенную и среднюю интенсивность сбоев. Отношение $E1/E2$ определяет допустимый процент распределенных сбоев во время функционирования системы. Такой подход более чувствителен к последовательным сбоям и менее – к чередующимся, причем чувствительность падает с ростом периода. В системах железнодорожной автоматики, ориентированных на обеспечение безопасности, применение такого подхода, особенно с высоким значением $m/E1$, сильно ограничено.

На основе рассмотренных подходов и их сочетаний могут быть построены различные алгоритмы, широко применяемые в большинстве современных систем обработки данных.

Литература:

1. RFC 2439 (<http://unix.org.ua/rfc/rfc2439.html>)
2. Романов Л.Н., Бутузов М.А., Костенко А.С., Яксон И.А. «Подходы к классификации последовательностей сбоев программно – аппаратных комплексов как отказов» - «Вопросы радиоэлектроники», сер. ЭВТ, 2008, февраль, выпуск.1, стр. 96.
3. ГОСТ 27.002-83. Надежность в технике. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1984, с. 18.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОЙ СТОЙКОСТИ ПРОВОДНИКОВ К ИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ



А.П. БИРЮКОВ

*Зам. директора
НТК ЖАТ ОАО
«Радиоавионики»*



А.А. КОСТРОМИНОВ

Доцент ПГУПС

Энергия импульса тока, проходящая вследствие молниевых разрядов по жилам кабелей ЖАТ, в общем, и в системах ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ, в частности, ограничивается тепловой стойкостью проводника. Предлагается к использованию математическая модель расчёта тепловой стойкости проводников к импульсным воздействиям, учитывающая изменение их удельного сопротивления и удельной теплоёмкости при увеличении температуры.

Введение

Случаи теплового повреждения изоляции и жил кабеля в хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) токами молнии крайне редки. Рассматривая эти случаи как вероятностный норматив в неявной форме, можно перейти к проектно-конструкторскому нормативу в виде предельной тепловой характеристики жилы кабеля. Это позволит выбирать элементы защиты устройств ЖАТ от импульсных перенапряжений с лучшей тепловой характеристикой, чем жила кабеля.

1. Определение зависимости удельного сопротивления проводника от изменяющейся во времени температуры.

Рассмотрим однородный по длине проводник с площадью поперечного сечения S удельным сопротивлением ρ .

Согласно закону Джоуля – Ленца, при протекании импульса тока $i(t)$ по элементу проводника длиной Δx за время Δt в нём выделится количество теплоты ΔQ , которое можно определить по формуле:

$$\Delta Q = (i(t))^2 \cdot \rho \cdot \frac{\Delta x}{S} \cdot \Delta t \quad (1)$$

Выделившаяся теплота ΔQ увеличивает температуру проводника на величину:

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{\Delta m \cdot c} = \frac{\Delta Q}{\Delta x \cdot g \cdot S \cdot c} = \frac{\rho}{g \cdot S^2 \cdot c} (i(t))^2 \cdot \Delta t \quad (2)$$

где c — удельная теплоёмкость материала проводника;

Δm — масса элемента проводника длиной Δx ;

g — плотность материала проводника.

Используя выражение (2), получаем дифференциальное выражение для функции $T(t)$:

$$\frac{d}{dt} T = \frac{\rho}{g \cdot S^2 \cdot c} (i(t))^2 \quad (3)$$

В качестве начального условия берём температуру проводника до прохождения через него импульса тока:

$$T(0) = T_0 \quad (4)$$

Тогда уравнение (3) совместно с начальным условием (4) представляют собой задачу Коши, решение которой позволит найти функцию $T(t)$ при заданном импульсе тока $i(t)$. Следует, однако, иметь в виду, что ρ зависит от температуры T . При увеличении температуры медного проводника от 300°K до уровня плавления $T_{пл} = 1356$ °K его удельное сопротивление возрастает примерно в 5 раз [1], и поэтому таким свойством проводника нельзя пренебрегать. Зависимость $\rho(T)$ аппроксимируется формулой вида:

$$\rho(T) = \rho_0 (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (5)$$

где ρ_0 — удельное сопротивление проводника при $T = T_0$;

α — температурный коэффициент сопротивления материала проводника (для чистых металлов он близок к величине 0,00366 град⁻¹).

2. Определение джоулева интеграла, приводящего к разрушению проводника.

Также по аналогичному закону зависит от температуры и удельная теплоёмкость материала проводника. Однако температурный коэффициент удельной теплоёмкости во много раз меньше, поэтому в вышеприведённых формулах зависимость удельной теплоёмкости учитывается подставлением её средней величины в диапазоне температур от 300 °K до 1356 °K.

Подставляя выражение 5 в уравнение 3, получим:

$$\frac{d}{dt} T = \frac{\rho_0}{g \cdot S^2 \cdot c} \cdot (i(t))^2 \cdot (1 + \alpha(T - T_0)) \quad (6)$$

Решив дифференциальное уравнение (6), находим температуру проводника по окончании импульса тока, устремляя t к бесконечности. Приравнявая эту температуру к температуре плавления материала проводника, получаем соотношение, связывающее параметры импульса тока для случая расплавления проводника:

$$T_{пл} \approx (B(1 - \alpha T_0) A e^{-\alpha A B} + T_0) e^{-\alpha A B} \tag{7}$$

где $A = \int_0^\infty (i(t))^2 dt$ — джоулев интеграл импульса тока;

$$B = \frac{\rho_0}{g \cdot S^2 \cdot c}$$

Если в уравнении (7) положить $\alpha = 0$, то есть пренебречь температурным коэффициентом сопротивления, то получим хорошо известный результат для джоулева интеграла теплового разрушения проводника:

$$A = \frac{g \cdot S^2 \cdot c}{\rho_{cp}} \Delta T \tag{8}$$

где ρ_{cp} – среднее значение удельного сопротивления, определённое для нормальной температуры и для температуры плавления материала. Результаты расчётов по формулам (7) и (8) тепловой стойкости проводников в виде медных круглых проводников приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диаметр проводника, мм	A ($\alpha=0$), $A^2 \cdot c \cdot 10^3$	A ($\alpha \neq 0$), $A^2 \cdot c \cdot 10^3$
0,25	0,2	0,23
0,5	3,2	3,7
1,0	49,5	59
1,5	258	300

Во втором и третьем столбцах таблицы приведены значения джоулева интеграла разрушения проводника, вычисленные без учёта зависимости сопротивления проводника и с её учётом. Необходимые для расчёта джоулева интеграла величины были взяты из справочника [1]. За величину удельной теплоёмкости проводника (меди) бралось среднее значение на интервале температур от 0С° до 1000С°: $c=460$ Дж/кг·град. Остальные величины имели следующие значения: $\rho=0,0175$ Ом·мм²/м; $\rho_{cp}=0,053$ Ом·мм²/м; $g=8930$ кг/м³

3. Верификация расчётов экспериментом

Из результатов таблицы видно, что для медной жилы кабеля СЦБ диаметром 1 мм имеем джоулев интеграл разрушения 59 000 А²·с. Для проверки правильности полученной величины были проведены испытания на гене-

раторе импульсного тока и напряжения ГИИТ. В качестве объекта испытания был взят медный проводник диаметром 1 мм. В ходе экспериментов получено, что при величине джоулева интеграла импульса, равной $65\,050\text{ A}^2\cdot\text{с}$, происходило разрушение проводника, внешне напоминающее взрыв. Сравнивая теоретическое значение величины теплового разрушения джоулева интеграла с полученным в эксперименте, следует признать хорошее их соответствие и считать разработанную методику расчёта тепловой стойкости проводников достоверной.

Заключение

Предлагаемая математическая модель позволяет рассчитывать тепловую стойкость жил кабеля с учётом зависимости сопротивления проводника от динамически изменяющейся удельной проводимости материала жил кабеля. Это, в свою очередь, позволит получить проектно – конструкторский норматив для энергетических характеристик молниезащитных средств.

Литература:

1. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г., Справочник по элементарной физике. – М.: Наука, 1976. – 256 с.
2. Стекольников И.С., Физика молнии и грозозащита. – Изд. АН СССР, 1943. – 227 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛНИЕВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ



А.П. БИРЮКОВ

*Зам. директора
НТК ЖАТ ОАО
«Радиоавионики»*



А.А. КОСТРОМИНОВ

Доцент ПГУПС

Рассматриваются математические модели молниевых перенапряжений, возникающих на стержневых заземлителях. Показано, что процесс ионизации грунта существенно влияет на характеристики этих перенапряжений, поражающих изоляцию оборудования с подключенными радиально заземлителям кабельными или воздушными линиями.

Введение

Системы микропроцессорных централизаций, в частности ЭЦ-ЕМ, имеют тенденцию к внедрению устройств связи с объектами (УСО) для управления и контроля напольными объектами железнодорожной автоматики для минимизации релейных схем, практически не поддающихся резервированию. УСО в свою очередь более подвержены влиянию молниевых (импульсных) перенапряжений, появляющихся в цепях заземления и кабельных линиях, радиально отходящих от поста электрической централизации. В связи с этим ставится задача выбора устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), имеющих значительный диапазон габаритных характеристик и ценовых показателей в зависимости от мощности. В нормативной документации ОАО «РЖД» и федеральных стандартах нет научно обоснованных характеристик импульсов, ожидаемых на портах систем ЭЦ и учитывающих процессы ионизации почвы.

1. Модель молниевоего перенапряжения на нелинейном сопротивлении заземлителя.

Для расчёта необходимо располагать тремя основными параметрами грунта: критической напряжённостью $E_{кр}$, постоянными времени иониза-

ции T_1 и деионизации T_2 . Эти величины для ряда грунтов были определены в опытах Дарвиницы и Лиева [1], а также при испытаниях, проводившихся другими исследователями. Значения, характерные для постоянных времени ионизации грунта T_1 , устойчивы и составляют 1,5-2 мкс; время деионизации T_2 для разных грунтов различно и меняется в значительных пределах от 0,5 до 4,5 мкс. В любом случае это время оказывается значительно меньше длительности импульса тока молнии.

Полагая далее заземлитель полусферическим, запишем формулу для напряженности поля в грунте до развития ионизационных процессов

$$r(i) = \sqrt{\frac{i(t)\rho_0}{2\pi E_{кр}}} = k\sqrt{i} \quad (1)$$

где I_0 — амплитудное значение тока молнии.

2. Случай скачкообразного импульса тока молнии.

В этом случае будем пренебрегать длительностью фронта импульса тока и запишем выражение для его спада

$$i(t) = I_0 \exp\left(\frac{-t}{T}\right) \quad (2)$$

где T — постоянная времени импульса.

Границу ионизационной зоны найдем из уравнения $E(r)=E_{кр}$. Получим

$$r_{кр} = \sqrt{\frac{I_0\rho_0}{2\pi E_{кр}}} \quad (3)$$

Для вычисления потенциала на поверхности заземлителя ионизационную зону разделим на три части, ограниченные полусферами. Первая (удаленная) часть задается неравенством $r > r_{кр}$. В этой области удельное сопротивление грунта остается неизменным. Вторая часть задается неравенством $r(i) < r < r_{кр}$. В этой области происходит деионизация, и удельное сопротивление растет по закону

$$\rho = \rho_{min} + (\rho_0 - \rho_{min}) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right)\right) \times \left(1 - \frac{J}{J_{кр}}\right)^2 \quad (4)$$

И, наконец, в третьей области, определяемой неравенством $r_0 < r < r(i)$, удельное сопротивление уменьшается по закону

$$\rho_l = \rho_0 \exp\left(-\frac{t}{T_l}\right) \quad (5)$$

Здесь r_0 — радиус полусферического заземлителя. Потенциал на поверхности заземлителя вычисляем по формуле

$$\varphi(r_0, t) = \int_{r_{kp}}^{\infty} \frac{i(t) \cdot \rho_0}{2\pi r^2} dr + \int_{r_0}^{r(i)} \frac{i(t) \cdot \rho_l(t)}{2\pi r^2} dr + \Delta\varphi_2 \quad (6)$$

где первые два слагаемых представляют собой падения потенциала на первой и третьей областях соответственно, а третье слагаемое $\Delta\varphi_2$ – падение потенциала на второй области. Производя интегрирование в (6), получим

$$\varphi(r_0, t) = \frac{i(t) \cdot \rho_0}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{kp}} + \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_{kp}} \right) \times \exp\left(-\frac{t}{T_l}\right) \right) + \Delta\varphi_2 \quad (7)$$

В формуле (6) сфера $r = r(i)$ отделяет область, в которой происходит уменьшение сопротивления, от области, в которой сопротивление восстанавливается по закону (4). Радиус этой сферы определяется соотношением

$$r(i) = \sqrt{\frac{i(t)\rho_0}{2\pi E_{kp}}} = k\sqrt{i} \quad (8)$$

Определим падение потенциала на второй области ($\Delta\varphi_2$)

$$\Delta\varphi_2 = \int_{r(i)}^{r_{kp}} \frac{i(t) \cdot \rho_2(r, t)}{2\pi r^2} dr \quad (9)$$

Удельное сопротивление в этой области $\rho_2(r, t)$ зависит также и от расстояния до точки слоя, так как при уменьшении тока импульса радиус области, в которой плотность тока превышает критическое значение, тоже уменьшается. К моменту времени t в пределах переходного слоя (вторая область) удельное сопротивление будет зависеть от r , так как восстановление сопротивления по закону (4) начинается в пределах слоя в разные моменты времени. Учитывая сказанное, запишем выражение для $\rho_2(r, t)$

$$\rho_2(r, t) = \rho_0 \left(\exp\left(-\frac{t(r)}{T_l}\right) + \left(1 - \exp\left(-\frac{t(r)}{T_l}\right) \right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t - t(r)}{T_2}\right) \right) \cdot \left(1 - \frac{J}{J_{kp}} \right) \right) \quad (10)$$

где $t(r)$ – решение относительно t уравнения, $r = k\sqrt{I_0} \cdot \exp\left(-\frac{t}{2T}\right)$ т.е.

$$t(r) = -2T \ln \frac{r}{k\sqrt{I_0}} \quad (11)$$

Опуская преобразования, получаем следующую приближенную расчетную формулу потенциала на заземлителе

$$\varphi(r_0, t) \approx \frac{I_0 \rho_0}{2\pi r_{\text{кр}}} \left(\left(\frac{r_{\text{кр}}}{r_0} - 1 \right) \cdot \exp(-t/T'') + A \exp(-t/2T) + B \exp(-2t/T) \right), \quad (12)$$

где $T'' = T_1 T / (T_1 + T)$

$$A = \frac{2}{3} - \frac{T_2}{2T + T_2} + \frac{T_2}{2T + 3T_2}$$

$$B = \frac{1}{3} + \frac{T_1}{2T - 3T_1}.$$

В целях решения задачи расчета напряжения на заземлителе в более реалистичных условиях требуется также учитывать заданную длительность фронта импульса тока молнии.

Анализируя результаты исследования, можно сделать следующие выводы. Нелинейное поведение сопротивлений заземлений может существенно облегчить работу защитных средств, позволяя выбирать их с меньшей величиной джоулевого интеграла, а следовательно, более дешевыми. Молниезащитные заземлители фактически являются начальным каскадом грозозащиты, и их следует рассматривать в единстве с разрядниками, варисторами и др. элементами.

Литература:

1. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.

РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ ПРОИЗВОДСТВА ОАО «РАДИОАВИОНИКА»



М.А. ЕРЕМИН

*Директор
ТЦ СЭП НТК ЖАТ
ОАО «Радиоавионики»*

Создание унифицированного ряда устройств электропитания для различных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), особенно конструкции, применяемые компоненты, перспективы развития.

1. Введение

Первоначально потребность в системе электропитания нового типа на базе устройств бесперебойного питания (УБП) возникла в период внедрения в опытную эксплуатацию микропроцессорной электрической централизации ЭЦ-ЕМ. Для решения этой задачи были разработаны, сконструированы и изготовлены опытные образцы совмещенной питающей установки (СПУ), которые впоследствии были приняты в постоянную эксплуатацию и рекомендованы к тиражированию совместно с ЭЦ-ЕМ. В настоящее время эта система электропитания получила дальнейшее развитие как в части расширения функциональности для различных применений, так и ряда технических усовершенствований.

2. Модификации для различных применений

В настоящее время выпускаются модификации СПУ для микропроцессорных систем централизации и автоблокировки ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ на базе УВК РА разработки ОАО «Радиоавионики», МПЦ2 разработки ООО «Поливид», РПЦ Диалог. Ведутся эксплуатационные испытания СПУ для АБТЦМ разработки ОАО «НИИАС». Данный ряд модификаций предусматривает электропитание малых станций с количеством стрелок до 30, средних станций от 30 до 70 стрелок и крупных станций от 70 до 200 стрелок. Также существуют модификации СПУ для электропитания перегонных и станционных устройств от одной установки, что позволяет экономить место и средства.

Все более широкое распространение получают устройства электропитания для классических релейных систем электрической централизации и автоблокировки. В настоящий момент ОАО «Радиоавионики» располагает целым рядом СПУ для электропитания релейных систем. В этот ряд входят СПУ для малых (до 40 стрелок), средних (40-70) и крупных (70-200) релейных станций, СПУ для питания АБТЦ. Предусмотрены модификации СПУ для питания стрелочных электродвигателей постоянного или переменного

тока. Так же как и для микропроцессорных систем существует модификация СПУ для питания ЭЦ и АБТЦ совместно. Таким образом, перекрывается практически весь ряд перегонных и станционных релейных систем железнодорожной автоматики.

3. Новые компоненты СПУ

На сегодняшний момент в устройствах электропитания используется ряд новых компонентов, внедренных в связи с расширением функциональности и вследствие технических усовершенствований. Все эти компоненты прошли необходимые испытания, процедуры согласования в составе соответствующих технических решений и разрешены к применению.

Вводное устройство фидера (ВУФ) представляет собой замену щита выключения с удалённым управлением (ЩВПУ), при этом может реализовывать различные системы заземления TN, TT, IT, согласно Правилу устройства электроустановок (ПУЭ). ВУФ имеет в своём составе разъединитель с видимым разрывом, устройство дистанционного отключения, устройство защиты от импульсных перенапряжений, электронный счетчик учета электрической энергии. Информация о состоянии всех компонентов ВУФ и фидера обрабатывается в подсистеме диагностики СПУ и передается в систему верхнего уровня.

Для ведения учета электрической энергии применяется счетчик A1800 (Elster). Данный счетчик выполняет две функции. Первая – многотарифный учет электрической энергии класса 0.5S, данные учета могут быть переданы в систему АСКУЭ. Вторая – мониторинг таких параметров питающего фидера, как напряжения, токи мгновенную мощность по фазам, частота, коэффициент гармоник, косинус фи. Мониторинг проводится в режиме реального времени (1с), данные по интерфейсу RS-485 передаются для обработки в подсистему диагностики СПУ, где ведется их обработка, архивирование и передача в вышестоящую систему. Счетчик сертифицирован как средство измерения.

Для обеспечения электропитанием постоянного тока 24В постового обслуживания как релейных, так и микропроцессорных централизаций крупных станций применяется система резервированных электронных выпрямителей RPL2440 (Michael Riedel). Каждый выпрямитель имеет номинальный выходной ток 40А. При этом выпрямители охлаждаются естественной конвекцией, что исключает износ механических частей при принудительной вентиляции. Данные выпрямители имеют 3х-фазные входы, что позволяет равномерно нагружать выход УБП. Также имеют простой способ подключения и крепления на DIN рейку, что предельно упрощает замену блока выпрямителя при выходе из строя. Каждый выпрямитель имеет контроль работоспособного состояния, включенный в подсистему диагностики СПУ.

Для питания стрелок постоянного тока также применяется система из N+1 электронных выпрямителей PSS18 (Convertronic) выходным напряже-

нием 220В постоянного тока с цифровым регулированием и ограничением выходных напряжений и токов. Каждый выпрямитель имеет выходной ток 6,7А. Выпрямители монтируются в 19' корзинах по три блока. Все подключения осуществляются на передней панели. Каждый выпрямитель имеет контроль работоспособного состояния, включенный в подсистему диагностики СПУ. Для питания устройств индикации релейных систем, а конкретно для образования мигающих полюсов питания используются твердотельные генераторы импульсов и твердотельные контакторы. Данное решение позволяет уйти от использования механически изнашивающихся частей и минимизировать затраты на обслуживание.

Для обеспечения бесперебойного питания крупных станций применяется система из 3х параллельно включенных УБП, данное решение позволяет уйти от использования устройства безопасного контроля напряжения (УБKN), так как при выходе из строя одного УБП остается резервированная система. При выходе же из строя инвертеров 2х УБП система автоматически переходит на электронный байпас. Эта схема включения позволяет уйти от дополнительных цепей коммутации, необходимых при использовании УБKN и снижающих надежность системы электропитания в целом.

4. Система диагностики и мониторинга

В настоящее время на стадии завершения заводских испытаний находится система диагностики СПУ, организованная на базе микроконтроллера.

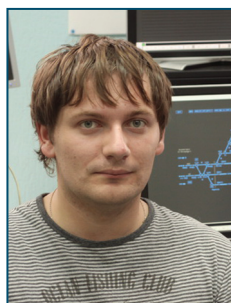
Данная система предназначена для:

- поэлементного контроля состояния компонентов;
- измерения напряжений и токов вторичных полюсов питания;
- хранения архива состояний;
- обработки информации о качестве питающих фидеров;
- обработки информации о состоянии УБП;
- обработки информации о состоянии ДГА;
- стыковки с системами верхнего уровня;
- анализа состояния и рекомендаций к действиям обслуживающего персонала;
- отображения состояния СПУ в целом и ее компонентов в отдельности на встроенном мониторе.

5. Перспективы дальнейшего развития систем электропитания

В ближайшем будущем планируется изготовление СПУ, серийно оснащаемых встроенной системой диагностики. Проходят опытную эксплуатацию устройства электропитания стрелочных и светофорных контроллеров. В перспективе ОАО «Радиоавионика» планируется разработка и изготовление устройств электропитания, предназначенных и для других систем управления движением поездов.

ПРИМЕНЕНИЕ КРОССПЛАТФОРМЕННОЙ БИБЛИОТЕКИ Qt4 ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТЕРМИНАЛОВ



С.Ю. КОСТЮНИН

*Инженер
НТЦ ПО НТК ЖАТ*



А.В. МИХАЙЛОВ

*Начальник отдела
НТЦ ПО НТК ЖАТ*

В статье рассматриваются особенности разработки программного обеспечения автоматизированных рабочих мест (АРМ ДСП) микропроцессорной системы контроля и управления движения поездов и маневровой работы на железнодорожных станциях. АРМ ДСП представляют собой технологические терминалы для обслуживающего персонала. Обосновывается применение кроссплатформенных библиотек, в частности, библиотеки Qt 4 языка C++, для создания графического интерфейса вышеуказанных технологических терминалов.

Основным элементом современной микропроцессорной системы контроля и управления движения поездов и маневровой работы на станциях ЭЦ-ЕМ, а также интервального регулирования на перегонах АБТЦ-ЕМ является специализированный управляющий вычислительный комплекс УВК РА. Технологические функции центральных зависимостей в УВК РА осуществляются программным способом в центральном постовом устройстве (ЦПУ), а функции безопасного сопряжения с объектами напольной автоматики выполняют специализированные устройства сопряжения с объектами (УСО). Для обеспечения взаимодействия УВК РА с дежурными по станции (ДСП), электромеханиками СЦБ (ШН) и другим персоналом предназначены соответственно автоматизированные рабочие места АРМ ДСП, АРМ ШН и информационные табло, выполненные на базе промышленных ПЭВМ.

Главной особенностью УВК РА является то, что реализация всех ответственных функций сосредоточена в ЦПУ и УСО, т.е. устройствах, построенных по принципам, отвечающим требованиям безопасности и надежности. В связи с этим следует рассматривать АРМ ДСП, АРМ ШН и информаци-

онные табло как технологические терминалы, основной задачей которых является обеспечение функции человеко-машинного интерфейса. Следует отметить, что в качестве операционной системы (ОС) для подобных терминалов могут быть использованы различные ОС, например, ОС семейства Microsoft Windows или Linux. Это следует учитывать при создании программного обеспечения для такого рода систем. Этим и обусловлен выбор кроссплатформенной библиотеки Qt для создания приложений, ориентированных на технологические терминалы.

Одним из главных достоинств данной библиотеки является то, что написанное с её использованием ПО может быть запущено в большинстве современных операционных систем (ОС) путём перекомпиляции для каждой ОС без внесения изменений в исходный код программ. Qt создана для языка C++, является полностью объектно-ориентированной, легко расширяемой и поддерживает технику компонентного программирования. Это позволяет упростить проектирование программного обеспечения, используя такие стандартные приёмы как шаблоны проектирования (design patterns), а также легко вносить в систему изменения. Следует отметить, что одним из важных требований к АРМ ДСП является полное отображение графической индикационной информации в режиме реального времени. Для отображения индикации в АРМ ДСП был выбран «мозаичный» принцип построения изображения на экране с помощью отдельных графических примитивов, каждый из которых загружается из файла во время работы программы.

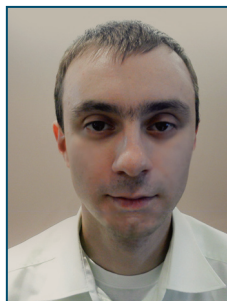
Библиотека Qt имеет мощную подсистему программирования графики, благодаря которой удаётся решить задачу быстрого отображения индикационной информации. При использовании графических компонентов библиотеки повышается быстродействие программы, в несколько раз снижается загрузка центрального процессора (данные диспетчера задач Windows) по сравнению с аналогичной программой, реализованной с помощью Borland C++ Builder 6. Всё чаще для повышения информативности, а также из-за большого объёма информации, которую необходимо предоставить оператору, требуется использовать в технологических терминалах (АРМ ДСП) несколько устройств вывода графической информации (мониторов). Кроме того, отдельные объекты индикации могут одновременно выводиться на несколько мониторов, поэтому становится особенно удобным использование подсистемы графического представления, основанного на концепции Модель-представление (Model - View). Поддержка этой концепции на уровне классов самой Qt является отличительной особенностью этой библиотеки.

Также библиотека включает в себя все основные классы, которые могут потребоваться при разработке прикладного программного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса и заканчивая классами для работы с сетью, базами данных и XML.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТА CENELEC EN 50128 ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ



А.А. НИКОЛАЕВ
Ведущий инженер



А.М. БЕЛОУС
*Инженер ИЦ ЖАТ
ПГУПС*

В статье рассматривается стандарт CENELEC EN 50128, его идеология и требования, которые он предъявляет при разработке ПО. Описываются базовые понятия стандарта и опыт его применения.

Стандарт EN 50128, посвященный разработке программного обеспечения (ПО) для железнодорожных систем, является частью семейства стандартов Европейского комитета по стандартизации в области электротехники (CENELEC). Он иерархически (см.рис 1) связан со стандартами EN 50126 (Железнодорожная система) и EN 50129 (Железнодорожная система сигнализации).

Стандарты CENELEC

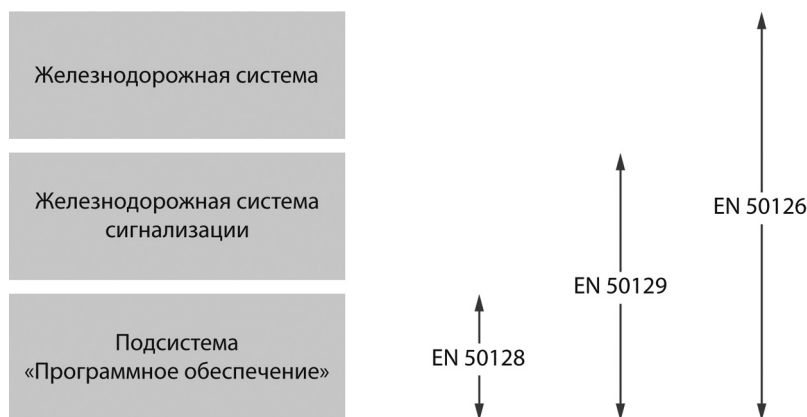


Рис 1. Стандарт EN 50128 в иерархии стандартов SENELEC

Сфера действия стандарта EN 50128 охватывает как ответственные приложения, так и приложения, к которым не предъявляются требования по безопасности. Таким образом, весь цикл разработки программного обеспечения для систем управления и контроля за движением поездов должен осуществляться в соответствии с требованиями CENELEC. При этом не делается различий между ответственными приложениями и приложениями, не влияющими на безопасность.

Для создания безошибочно работающего ПО, необходимого для устройств, обеспечивающих безопасность движения, следует добиться всеобъемлющей, непротиворечивой и целостной постановки задачи. Правильная конвертация поставленной задачи в работоспособное программное обеспечение, поддающееся проверке посредством тестирования, достигается за счет целенаправленных мероприятий в рамках управляемого процесса. С точки зрения стандарта EN 50128 невозможно подтвердить корректную работу программного обеспечения только при помощи тестирования. Помимо тестирования, большое внимание уделяется самому процессу создания ПО. В зависимости от требований к безопасности этот процесс с большей или меньшей интенсивностью сопровождается и оценивается органом надзора. Таким образом, организация процесса разработки существенно влияет на допуск к эксплуатации.

Базовым понятием стандарта является критерий риска, который определяется как комбинация частоты или вероятности и последствий сбоя. Концепция риска всегда содержит два элемента: частоту или вероятность, с которой происходит опасное событие, и последствия опасного события. Если сбой влечет за собой такие последствия, как экономический ущерб или угроза человеческой жизни, то должны проводиться мероприятия по снижению рисков для приемлемого уровня. Классифицировать эти мероприятия позволяют, в частности, заложенные в стандарт EN 50129 уровни требований к безопасности (Safety Integrity Level, SIL), которые устанавливают параметры предотвращения ошибок для реализации ответственных функций. В сочетании с требованиями, устанавливающими численные значения, эти параметры определяют целевые задачи технического устройства с точки зрения безопасности. Всего стандарт предлагает 5 уровней безопасности, причем низший уровень не подразумевает требований по безопасности, но необходим с формальной точки зрения.

Стандарт CENELEC, вне зависимости от выбранного уровня безопасности, четко регламентирует процесс разработки программного обеспечения (см.рис.2). При разработке ПО задача состоит в корректном преобразовании в программный код ответственных функций, заданных пользователем, и требуемых для реализации этих функций дополнительных технологий. Это корректное преобразование достигается в рамках процесса, в ходе ко-

торого при помощи соответствующих методов шаг за шагом поставленная задача детализируется до такой степени, когда возможна ее реализация в виде программных модулей. На этапах разработки (постановка задачи, т. е. формулирование требований к ПО, проектирование ПО и программных модулей), наряду с постановкой тех или иных задач, создаются соответствующие спецификации тестов. В этих спецификациях для каждого этапа постановки задачи содержится информация о том, как может быть протестировано преобразование поставленной задачи в модули ПО, систему программ или программно-аппаратный комплекс.

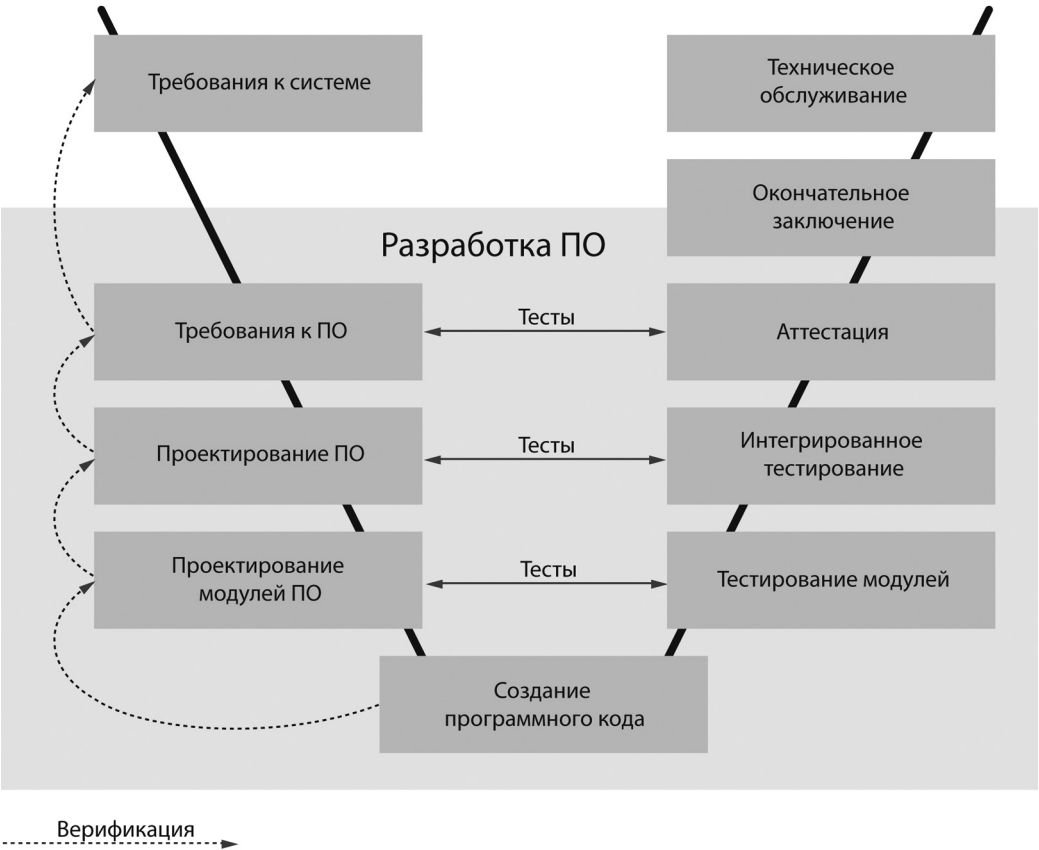


Рис 2. Этапы разработки программного обеспечения

Корректность преобразования требований к системе при использовании этой концепции обеспечивается тем, что после каждого шага по детализации постановки задачи выполняются проверочные мероприятия (верификация). Проверка позволяет установить, что задачи, определенные на предыдущем этапе, действительно выполняются после их детализации.

Стандарт EN 50128 разделяет при создании проекта роли проектировщика, верификатора, аттестатора и эксперта. В зависимости от выбранного уровня безопасности налагаются дополнительные требования к лицам, участвующим в проекте. И если при нулевом уровне безопасности проектировщик, верификатор и аттестатор могут быть одним человеком и только эксперт должен быть представителем сторонней организации, то при наивысшем уровне требуется уже участие пяти разных людей – руководителя проекта, исполнителя, верификатора, аттестатора и эксперта.

Опыт использования данного стандарта на практике позволил более качественно формализовать архитектуру ПО, разделить объемные части кода на отдельные модули и провести их автономное тестирование. В то же время пересмотр архитектуры, изменение проектной документации и проведение многочисленных тестов повлекли за собой серьезные трудозатраты. Но в результате получается четко структурированная система, состоящая из слабосвязанных и хорошо документированных модулей, что значительно упрощает ее дальнейшую модификацию.

Следование стандартам CENELEC позволяет создавать качественное программное обеспечение. Разделение по уровням безопасности позволяет гибко выбирать уровень требований к системе. Итеративность и постоянный контроль процесса разработки обеспечивает устранение ошибок на возможно более ранних стадиях создания программного обеспечения.

Литература:

1. CENELEC, EN 50126. Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). 1998. To be published as IEC 62278 (Применения на ж.-д. транспорте. Спецификация и демонстрация надежности, доступности, ремонтпригодности и безопасности. Подлежит опубликованию как стандарт IEC 62279).
2. CENELEC, EN 50128. Railway applications – Communications, signaling and processing systems – software for railway control and protections systems. 2001. To be published as IEC 62278 (Применения на ж.-д. транспорте. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Подлежит опубликованию как стандарт IEC 62279). ICS 29.280; 45.060.10.

СТАТИЧЕСКАЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ОШИБОК В ИСХОДНОМ И ИСПОЛНЯЕМОМ КОДЕ ПО



А.В. БРЮХОВ

*Инженер-программист
НТЦ ПО НТК ЖАТ*

Произведены исследования способов обнаружения ошибок в ПО на различных этапах его разработки. Предложен вариант комбинирования статического и динамического анализа и правил безопасного программирования для разработки безопасного ПО.

Статическая и динамическая системы обнаружения ошибок в исходном и исполняемом коде ПО

Современная методика создания ПО предполагает высокую квалификацию специалистов, участвующих в его разработке, поскольку на безопасность ПО влияют не только архитектурные решения, но и т.н. человеческий фактор на различных уровнях: от проектирования до тестирования и введения в эксплуатацию. Данная статья исследует способы обнаружения ошибок в ПО с помощью статического и динамического анализа, а также меры по предотвращению появления ошибок.

С помощью указанных способов формируется возможность предотвратить проблемы, порождаемые ошибками до их проникновения на уровень эксплуатации, т.е. выявить и предупредить появление логических ошибок, скрытых уязвимостей и некоторых других дефектов реализации.

Произведем классификацию этапов появления ошибок в программе:

- 1 Создание архитектуры;
- 2 Проектирование содержимого конкретных модулей;
- 3 Написание модулей кода;
- 4 Интеграция модулей;
- 5 Предварительное тестирование модулей;
- 6 Тестирование на полное соответствие.

Статический анализ можно производить на этапе 3 (во время компоновки ПО), 4 и 5. Такое раннее обнаружение ошибок полезно для встраиваемых систем, где разработчики не могут использовать динамический анализ до тех пор, пока программное обеспечение не будет завершено настолько, чтобы его было можно запустить на целевой системе. Инструменты статического анализа выполняют проверки на синтаксическом и семантическом уровнях исходного кода. Статический анализ при правильном применении является высокоэффективным средством обнаружения ошибок на ранних этапах написания ПО.

Статические анализаторы бывают как общего назначения, так и узкоспециализированными для нахождения определенных классов ошибок. Из существующих решений большая часть анализаторов предназначена для использования с одним конкретным языком программирования или несколькими друг на друга значительно похожими. Для использования инструментов статического анализа программист размещает в своей программе так называемые аннотации, которые делают результат проверки на ошибки значительно более качественным, но это требует знания методов их использования. Статический анализ предполагает доступность для анализа исходного кода ПО, иначе такой анализ провести невозможно даже методом дизассемблирования.

Основное преимущество использования статических анализаторов кода состоит в существенном снижении стоимости устранения ошибок в ПО, т.е. чем раньше ошибка выявлена, тем меньше стоимость ее исправления. Исправление ошибки на этапе тестирования стоит в десять раз дороже, чем на этапе написания кода [1]. Далее будет проанализирован способ динамического анализа, который нужно использовать на этапе интеграции и предварительного тестирования. Он позволяет обнаруживать другой класс ошибок, — тех, которые были пропущены статическим анализом. При динамическом анализе обнаруживаются ошибки, например, операции с памятью, указателями и т.п.

Инструменты динамического анализа обнаруживают программные ошибки в коде, запущенном на исполнение путем более тщательного контроля как самой программы, так и той среды, где она выполняется (например, состояние стека). При этом разработчик может наблюдать или диагностировать ПО во время его работы в целевой среде. Это достигается за счет модификации исходного кода путем установки ловушек для осуществления всех необходимых проверок. В отличие от статического анализа динамический анализ дает ложные срабатывания гораздо реже.

Использование инструментов статического и динамического анализа позволяет повысить культуру написания исходного кода ПО, его безопасность, но данная мера не позволяет полностью исключить все возможные ошибки. В исследованиях инструментов статического и динамического анализа нужно упомянуть о роли ОС в обеспечении информационной безопасности ПО. Оказывается, что правильно созданная ОС РВ может в значительной степени облегчить обнаружение, локализацию и разрешение многих программных ошибок. Например, в микроядерной ОС РВ типа AvRTOS-32 прикладное ПО, драйверы устройств и сетевые стеки располагаются в отдельном адресном пространстве, которое контролируется аппаратной частью микропроцессора. В результате все они оказываются изолированными от остальной памяти, которая может быть очень большого объема, а области

памяти, которые в результате работы не изменяются, – контролируются контрольными суммами, обеспечивая защиту от случайных искажений (в т.ч. областей кода). Аппаратная защита обеспечивает обнаружение операций с нулевыми указателями и указателями, выходящим за допустимые ПО границы. Такой подход обеспечивает высокую степень локализации ошибок. Так можно легко обнаружить и локализовать ошибку с точностью до модуля, который эту ошибку вызвал.

В идеальной ОС каждый компонент должен быть изолирован в своем собственном адресном пространстве и иметь свои, максимально ограниченные привилегии с тем, чтобы минимизировать все возможные случайные или преднамеренные влияния на другие модули. ОС должна обеспечивать простую систему отладки драйверов и других системных модулей. Программное обеспечение, к которому выдвигаются повышенные требования с точки зрения информационной безопасности, должно обладать свойством готовности к возможным программным или аппаратным ошибкам. Исходя из вышесказанного, можно сформулировать следующие правила корректного программирования для уровня программиста.

- 1 Использовать преимущественно буферы фиксированного размера (в зависимости от архитектуры и назначения) или безопасный интерфейс для доступа к динамической памяти, если таковая доступна;
- 2 Проверять результат выполнения всех функций, обеспечивая тем самым контроль всех допустимых значений выходных данных;
- 3 Проверять входные данные в каждой функции, как будто она пишется отдельным человеком с тем, чтобы её внутренняя логика всегда безопасно работала для любых входных параметров;
- 4 Минимизировать все возможные области видимости локальных и глобальных переменных различными способами (требует дополнительного изучения);
- 5 Использовать модификатор, обозначающий что переменная не изменяется везде, где это необходимо;
- 6 Всегда создавать циклы, имеющие условие завершения, в противовес бесконечным для исключения варианта зависания участка кода в самом себе;
- 7 До успешного прохождения этапа тестирования использовать (при наличии соответствующей возможности в языке программирования) функцию `assert`;
- 8 Для языка Си: объявлять знак `u` `char` всегда;
- 9 Контролировать размерность переменных и их знаки;
- 10 Использовать явное указание приоритетов операций с помощью скобок;
- 11 Для операций с памятью работать через безопасные интерфейсы, которые контролируют операции выделения, освобождения участков памяти и т.п.

Предложенные правила могут быть эффективно расширены под необходимую задачу.

Разработка ПО с использованием статических и динамических систем анализа исходного кода, поддержки аппаратного контроля безопасности и отладки программ со стороны ОС вместе с правилами безопасного программирования позволяют в более короткие сроки создавать более качественное и безопасное ПО.

Литература:

1. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс / Пер. с англ. - М. : Издательско-торговый дом «Русская редакция»; СПб.: Питер, 2005. - 896 стр.: ил. ISBN 5-7502-0064-7.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ОС РВ



А.В. БРЮХОВ

*Инженер-программист
НТЦ ПО НТК ЖАТ*

Эта статья посвящена рассмотрению состояния ИБ применительно к ОС РВ. Проанализированы проблемы существующих стандартов информационной безопасности операционных систем реального времени. Обоснованы требования, которые необходимо учитывать при разработке изделий с применением ОС РВ с точки зрения ИБ и создании в дальнейшем стандартов ИБ для ОС РВ.

Сравнительный анализ безопасности ОС РВ

В данной статье системы реального времени – это системы, которые предсказуемо (в смысле времени реакции) реагируют на не предсказуемые (по времени появления) внешние события [1]. Совершенно очевидно, что для увеличения совместимости и уменьшения количества неправильных реализаций ОС РВ необходимо наличие стандартов высокого качества. Существует много систем, поддерживающих те или иные стандарты. Наличие значительных различий в стандартах на ОС РВ, огромное количество доступных для использования аппаратных платформ порождают проблему стандартизации в этих областях.

Современные ОС РВ архитектурно реализуют различные модели межпроцессного взаимодействия, распределение памяти, обработки ошибок, реализации многопроцессорных систем и систем цифровой обработки сигналов, автоматический контроль для обеспечения высокой готовности и безопасности и т.д. Основное требование к ОС РВ – предсказуемость и детерминированность поведения в заранее определенных условиях всех её структурных компонент. В случае невыполнения функциональных требований ОС РВ должен быть обнаружен отказ системы и произведен перевод обслуживаемой и обслуживающей систем в безопасное состояние.

ОС РВ часто управляет очень ответственными промышленными или транспортными процессами, что выдвигает очень жесткие требования на надежность используемого оборудования, поэтому ОС РВ должна включать в себя систему самодиагностики, работающую в фоновом режиме, чтобы контролировать собственную целостность и исправность для уменьшения вероятности появления опасного отказа. У многих известных ОС РВ

диагностика отсутствует или работает только в момент запуска. Стандарты, связанные с ИБ ОС РВ, можно разделить на две группы:

1. Декларирующие требования к устройству ОС РВ, в которых ИБ затрагивается в недостаточной степени. К ним относятся: IEEE POSIX 1003.1-2003 и 1003.13-2003 (2003 г.), ITRON (США, 1989 г.), DO-178B (США), DO-178C (США), ARINC-653 (США), ED-12B (Европа 1992 г.), OSEK/VDX(2005 г.), ISO 17356;
2. Декларирующие требования к ИБ ОС РВ;
3. Прочие: ГОСТ Р (концепции и требования к защите от НСД), стандарт критериев оценки пригодности компьютерных систем (Trusted Computer System Evaluation Criteria – TCSEC, министерство обороны США), “Общие критерии оценки безопасности информационных технологий” (далее просто – Общие критерии) (Common Criteria for IT Security Evaluation, ISO/IEC 15408), IEC 61508 (ГОСТ Р МЭК 61508-6-2007).

Несмотря на широкую географию распределения стандартов для ОС РВ, налицо отсутствие полноценных международных стандартов для ОС РВ, нацеленных на область ИБ, а существующие являются устаревшими и несовершенными. Учитывая необходимость в новых версиях, заметного продвижения в этой области не наблюдается. Определим на примере POSIX общие недостатки перечисленных стандартов.

POSIX сообщает, что ОС РВ должна реализовывать не менее 32-х уровней приоритетов, но не описывает качественные уровни событий отказов ОС, механизм контроля собственной целостности (и управления памятью для этих целей), способы перехода в безопасное состояние. Для большинства указанных стандартов отсутствует ПО, тестирующее ОС РВ на соответствие, классификация ОС РВ, что затрудняет оценку ИБ, и делает необходимым разрабатывать соответствующие разделы в техническом задании на разработку изделия. Кроме перечисленных проблем ИБ, необходимо разработать определения понятий мягкой РВ и жесткое РВ для внесения в дальнейшем в стандарты.

На каждом этапе разработки и внедрения ОС РВ с точки зрения ИБ необходимо минимизировать роль человеческого фактора в появлении ошибок. Максимальная ИБ должна обеспечиваться ОС РВ на уровне каждого её структурного компонента, а также контролем используемых и неиспользуемых аппаратных средств, присутствующих у каждой конкретной платформы.

Современная теория и практика надежности функционирования программно-вычислительных средств основана на вероятностном подходе, использующем статистические данные об ошибках из исходных данных самих программ. Она использует обширный ряд моделей и методов исследования

надежности программного обеспечения [2,3]. Однако полноценный анализ ИБ для ОС РВ делает невозможным отсутствие статистики по ОС РВ в области ИБ в отличие от обычных ОС, которые используются «открыто» и регулярно получают обновления для предотвращения появления обнаруженных ошибок.

Чтобы сравнить ОС по каким-либо параметрам включая уровень обеспечения ИБ, необходимо иметь четкое представление о тех характеристиках, которые обеспечивает конкретная ОС РВ. Для этого нужно составить многомерную группу характеристик, таких как: способы реализации конкретных механизмов, их зависимости, гарантированные уровни реакции на определенные события, производительность и т.п.

Литература:

1. Martin Timmerman, Bart Van Beneden, Lourent Uhres. RTOS Evaluation Kick Off! // Real-Time Magazine. – 1998. – N3;
2. Тейер Т., Липов М., Нельсон Э. Надежность программного обеспечения. - Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
3. Липаев В.В. Надежность программных средств.-М.: Синтег, 1998.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУНАТУРНОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕСТИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ



Г.А. ЧАЙКОВСКАЯ

*Зам. директора
НТЦ ПО НТК ЖАТ*



И.А. КРАСИЛЬНИКОВ

*Начальник отдела
сетевой интеграции
НТЦ ПО НТК ЖАТ*



С.Е. МИНАКОВ

*Зам. начальника
отдела
НТЦ ПО НТК ЖАТ*



А.В. УСЕНКО

*Ведущий инженер
НТЦ ПО НТК ЖАТ*

В статье описаны методы моделирования, использованные при разработке тестирующего комплекса системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ. Приведено описание архитектуры и программного обеспечения тестирующего комплекса. Описаны преимущества использования тестирующего комплекса перед вводом системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ в эксплуатацию и при изменении путевого развития станции.

Наше предприятие успешно внедряет систему микропроцессорной централизации и автоблокировки ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ на железных дорогах России с 2001 года. Опыт разработки, внедрения и сопровождения нашей системы позволяет ОАО «Радиоавионика» совершенствовать и развивать все технологические процессы, связанные с жизненным циклом системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ.

Наиболее трудозатратным этапом жизненного цикла является проведение индивидуальных испытаний «вхолостую» системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ на станции, которые выполняются:

- при вводе в эксплуатацию системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ;
- при изменении путевого развития, технологии работы, состава и расположения напольного оборудования станции в процессе эксплуатации.

Согласно СТО РЖД 1.19.002-2007 под индивидуальными испытаниями «вхолостую» понимается проверка взаимозависимостей стрелок, сигналов и маршрутов, а также работоспособности постового оборудования объек-

та ЖАТ с использованием «макетов» (имитаторов путевых устройств и/или схем управления путевыми устройствами) в объёме реализуемых ими функций.

В начале 2009 года специалисты ОАО «Радиоавионика» и института «Гипротрансигналсвязь» проанализировали возможность проведения индивидуальных испытаний «вхолостую» системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ в заводских условиях и приняли решение о разработке тестирующего комплекса. В основу разработки легли следующие решения:

- замена «макетов», используемых при выполнении индивидуальных испытаний «вхолостую», программными моделями напольных устройств СЦБ;
- замена части серийного оборудования управляющего вычислительного комплекса (УВК РА) программными имитаторами;
- создание аппаратно-программного комплекса, обеспечивающего взаимодействие с различными исполнениями центрального постового устройства (ЦПУ) УВК РА в режиме реального времени;
- создание дружественного графического интерфейса пользователя тестирующего комплекса (специалиста, выполняющего испытания).

Таким образом, разработка тестирующего комплекса для проведения индивидуальных испытаний «вхолостую» системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ в заводских условиях базировалась на комбинации методов полунатурного моделирования и имитационного моделирования.

Моделирование можно рассматривать как замещение реального объекта (оригинала) его условным образом, описанием или другим объектом, именуемым моделью и обеспечивающим близкое к оригиналу поведение в рамках некоторых допущений и приемлемых погрешностей.

1. Имитационное моделирование

Для тестирующего комплекса было необходимо разработать программные модели, воспроизводящие процесс функционирования напольных устройств СЦБ и устройств УВК РА во времени при различных сочетаниях значений параметров устройств и внешней среды. Такой вид моделирования называется имитационным моделированием. Программная модель представляет собой формализованное описание логики работы реального устройства на языке программирования высокого уровня.

Программная модель должна отвечать следующим требованиям:

- адекватность – точное воспроизведение свойств имитируемого устройства;
- полнота – предоставление пользователю необходимой информации об имитируемом устройстве;

- гибкость – возможность воспроизведения различных ситуаций во всем диапазоне изменения условий и параметров.

Программные модели напольных устройств СЦБ разрабатывались специалистами института «Гипротрансигнализация». При разработке систематизировалась следующая информация:

- типы напольных устройств СЦБ;
- режимы работы для каждого типа устройств, в том числе режимы работы при наличии неисправностей в управляющей системе или в самом устройстве;
- правила формирования значений сигналов контроля в зависимости от набора значений сигналов управления в различных режимах работы для каждого типа напольных устройств СЦБ;
- правила отображения состояния устройств на мнемосхеме, а также интерфейс задания режимов работы;
- временные характеристики работы напольных устройств СЦБ.

Программная модель устройств сопряжения с объектом (УСО) разрабатывалась специалистами ОАО «Радиоавионика». УСО входят в состав УВК РА и обеспечивают обмен данными между ЦПУ и напольными устройствами СЦБ. УСО является системой жёсткого реального времени. При разработке программной модели УСО систематизировалась следующая информация:

- протоколы информационного обмена ЦПУ-УСО для различных исполнений УВК РА;
- временные характеристики работы УСО;
- форматы диагностической и конфигурационной информации ЦПУ и УСО.

2. Полунатурное моделирование

Основные технические решения, использованные при разработке тестирующего комплекса, базируются на технических решениях для комплексов полунатурного моделирования, широко используемых в ОАО «Радиоавионика» при разработке и отладке систем оборонного назначения.

В рамках методологии полунатурного моделирования часть программно-аппаратных средств системы и её окружения заменяется программными моделями, функционирующими в соответствии со строгими временными и логическими закономерностями, свойственными реальным устройствам.

На рисунке 1 представлен состав оборудования и программного обеспечения (ПО), необходимый для выполнения индивидуальных испытаний «вхолостую» системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ в заводских условиях.

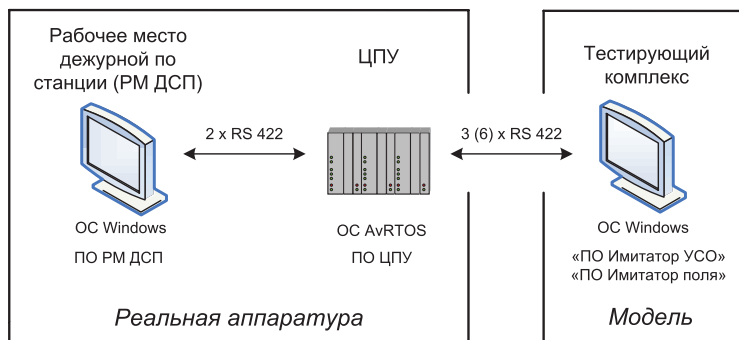


Рис. 1. Состав оборудования и программного обеспечения для выполнения индивидуальных испытаний «вхолостую» системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ в заводских условиях

В соответствии с методологией полунатурного моделирования была выполнена замена:

- части программно-аппаратных средств системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ (УСО и интерфейсные реле) на программную модель, входящую в состав программного обеспечения «ПО Имитатор УСО»;
- окружения системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ (напольных устройств СЦБ) на программные модели, входящие в состав программного обеспечения «ПО Имитатор поля».

Индивидуальные испытания «вхолостую» системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ в заводских условиях выполняются в реальном масштабе времени, что позволяет проверять не только корректность работы адаптированного программного обеспечения ЦПУ и РМ ДСП, но и взаимовлияние программного обеспечения и реальной аппаратуры.

ПО «Имитатор УСО» и ПО «Имитатор поля» разработаны для функционирования под управлением операционной системы (ОС) Windows, что делает возможным их запуск и выполнение в виде отдельных процессов на одной промышленной ЭВМ. Такое решение позволило уменьшить размеры и снизить стоимость изготовления тестирующего комплекса.

Одной из основных задач при разработке программного обеспечения «ПО Имитатор УСО» была необходимость выдержать жесткие требования к временным характеристикам информационного обмена с ЦПУ (время реакции на запросы не более 55 мс; погрешность передачи запросов не более 5 мс), при том, что ОС Windows не является операционной системой реального времени. Проведенные специалистами ОАО «Радиоавионика» исследования показали, что решение этой задачи возможно при выборе архитектуры ПО, основанной на взаимодействии потоков обмена, обеспечивающих выполнение синхронных операций ввода-вывода, и управляемых событиями потоков обработки данных. Опыт успешной эксплуатации тестирующего

щего комплекса, при которой в течение полугода не было зафиксировано ни одного сбоя, связанного с нарушением временных характеристик обмена с ЦПУ, доказал правильность выбранного решения. В перспективе развитие программно-аппаратных средств тестирующего комплекса системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ связано с двумя направлениями:

- автоматизация проведения процесса испытаний, что позволит сократить временные затраты на тестирование, особенно для крупных станций;
- модернизация ПО тестирующего комплекса, связанная с развитием программно-аппаратных средств системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ, например, разработка программного обеспечения имитации работы УСО бесконтактного (без использования релейного интерфейса) управления напольными устройствами СЦБ.

Заключение

Использование тестирующего комплекса для индивидуальных испытаний «вхолостую» системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ в заводских условиях позволяет минимизировать объем работ по макетированию устройств СЦБ на станциях; оперативно устранять возможные проектные ошибки, в том числе ошибки программного обеспечения, сокращать сроки испытаний и время ввода системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ в эксплуатацию.

Испытания с использованием тестирующего комплекса можно рационально и с минимальными издержками проводить при модернизации системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ, связанной с изменениями путевого развития станции.

При этом в заводских условиях проводятся испытания взаимозависимостей стрелок, сигналов и маршрутов, а для части станции, в пределах которой изменено путевое развитие, проводятся испытания, связанные с комплексным опробованием. Это позволяет значительно сокращать затраты, связанные с изменениями путевого развития станции.

МЕТОДЫ АДАПТАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ВНЕДРЕНИЯ ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ



И.А. КРАСИЛЬНИКОВ
Начальник отдела
сетевой интеграции НТЦ
ПО НТК ЖАТ



С.Е. МИНАКОВ
Зам. начальника отдела
НТЦ ПО НТК ЖАТ



А.В. УСЕНКО
Ведущий инженер
НТЦ ПО НТК ЖАТ

В статье дано краткое описание технологии работ по адаптации программного обеспечения систем железнодорожной автоматики. Проанализированы недостатки применяемых технологий и предложены методы их устранения. Описаны методы, используемые при адаптации контрольно-диагностического программного обеспечения системы микропроцессорной сигнализации и автоблокировки ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ.

В соответствии с ГОСТ 26553-85 под адаптацией программного обеспечения (ПО) подразумевается приспособление ПО к определенным условиям функционирования без изменения его основных функций. Для систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) под адаптацией ПО понимается процесс приспособления программного обеспечения к конкретному объекту внедрения (станции, перегону). Процесс адаптации используется при разработке ПО большинства систем ЖАТ, таких как:

- микропроцессорные системы централизации и автоблокировки;
- системы диспетчерского контроля и диспетчерской централизации (ДК, ДЦ);
- прочие интеллектуальные системы сигнализации, управления движением и т.п.

Необходимость проведения процесса адаптации ПО обусловлена:

- разнообразием схем путевого развития на объектах внедрения (отсутствием шаблонов проектов станций);
- разнообразием протоколов увязки с различными управляющими и контролирующими системами ЖАТ;
- разнообразием используемого напольного и постового оборудования.

Работы, связанные с адаптацией ПО, при составлении планов и смет относятся либо к пусконаладочным работам, либо включают в стоимость предоставляемого оборудования.

Большинство разработчиков систем ЖАТ разделяют ПО на типовую (неизменяемую от объекта к объекту) и адаптируемую часть. Это позволяет проводить тестирование только адаптируемой части, либо только тех функций ПО, работа которых зависит от адаптируемой части. Кроме того, при необходимости сертификации программного обеспечения достаточно однократное проведение экспертного анализа типовой части ПО. В качестве адаптируемой части ПО могут выступать:

- данные в виде файлов или таблиц баз данных (списки сигналов, закодированные мнемосхемы путевого развития, инициализационные файлы для настройки работы ПО на определенном типе оборудования);
- исполняемые программные файлы или библиотеки;
- файлы исходного кода (или объектные файлы). В этом случае результирующий исполняемый файл ПО создаётся компиляцией и сборкой типовых и адаптированных файлов исходного кода.

Наиболее часто выполняется адаптация данных. Как было отмечено выше, данные могут храниться в виде файлов или таблиц баз данных. При выборе формата хранения данных в виде файлов рекомендуется учитывать следующие требования:

- открытость и распространенность – позволяет использовать одни и те же файлы адаптации в разных программных продуктах (например, при осуществлении стыковки систем разных производителей);
- кроссплатформенность – позволяет сохранить формат данных адаптации при переводе ПО на другую платформу;
- гибкость и структурированность – позволяет безболезненно расширять формат.

Перечисленным требованиям наиболее удовлетворяет формат расширяемого языка разметки (XML). Даже при использовании баз данных целесообразно создавать файлы адаптации в формате XML, данные которых затем загружать в таблицы базы.

Естественным способом повышения качества процесса адаптации является автоматизация процесса с использованием специального ПО (редакторов, генераторов данных). Автоматизация может существенно ускорить выполнение работ по адаптации, а также сократить затраты на выявление и коррекцию ошибок, возникающих в результате действия т.н. «человеческого фактора». На практике в ряде случаев невозможно построение полностью автоматизированного процесса по объективным (в силу характера данных адаптации, напри-

мер, при построении мнемосхем путевого развития) или субъективным (организационным) причинам. Примером субъективных причин, затрудняющих автоматизацию процесса адаптации, является отсутствие согласованного протокола о передаче проектной документации в электронном виде. В этом случае печатные документы, созданные организацией-проектировщиком, повторно переводятся в электронный вид в организации, выполняющей адаптацию ПО.

При построении процесса адаптации и разработке ПО автоматизации процесса важно оценивать затраты на модернизацию данных адаптации, поводом для которой может стать изменение путевого развития станции. Если при внедрении системы ЖАТ объем работ по проведению процесса адаптации ПО пропорционален количеству контролируемых устройств СЦБ, то объем работ по модернизации должен быть пропорционален количеству добавляемых устройств. Например, при внесении изменений в список сигналов состояния контролируемых устройств СЦБ может возникнуть необходимость добавления новых сигналов в начало или середину списка. В этом случае ПО редактора списка должно обладать функциями автоматического перерасчета позиций сигналов, находящихся в нижней части списка. Иначе затраты на модернизацию могут стать сравнимыми с затратами на повторное проведение процесса адаптации для станции в целом.

Тестирование адаптированного ПО должно производиться в лабораторных и заводских условиях. При невозможности обеспечения полноты тестирования в лабораторных и заводских условиях (например, при увязке различных систем ЖАТ) часть тестов должна проводиться непосредственно на объекте внедрения во время пуско-наладочных работ. Полнота тестирования зависит от наличия требований к информационной безопасности адаптированного ПО. Тестирование в лабораторных условиях подразумевает, как правило, разработку специального ПО (например, ПО эмуляции потоков данных, генерируемых устройствами СЦБ в реальных условиях), при этом выполнение тестов может быть автоматизировано. При проведении автоматизированного тестирования выходные данные адаптированного ПО при различных внешних воздействиях сравниваются с эталонным набором данных. При этом важно, чтобы процесс построения эталонного набора данных проводился независимо от процесса адаптации. В противном случае возникает вероятность обнаружения «симметричных» ошибок (например, ошибок в общих исходных данных).

Одним из путей снижения затрат на проведение процессов адаптации является разработка унифицированных форматов данных адаптации. Так, создание мнемосхемы станции объекта внедрения системы микропроцессорной централизации и автоблокировки ЭЦ ЕМ / АБТЦ ЕМ производится отдельно при адаптации ПО автоматизированных рабочих мест (АРМ):

- дежурного по станции;
- электромеханика СЦБ;
- диспетчера дистанции СЦБ;
- поездного диспетчера.

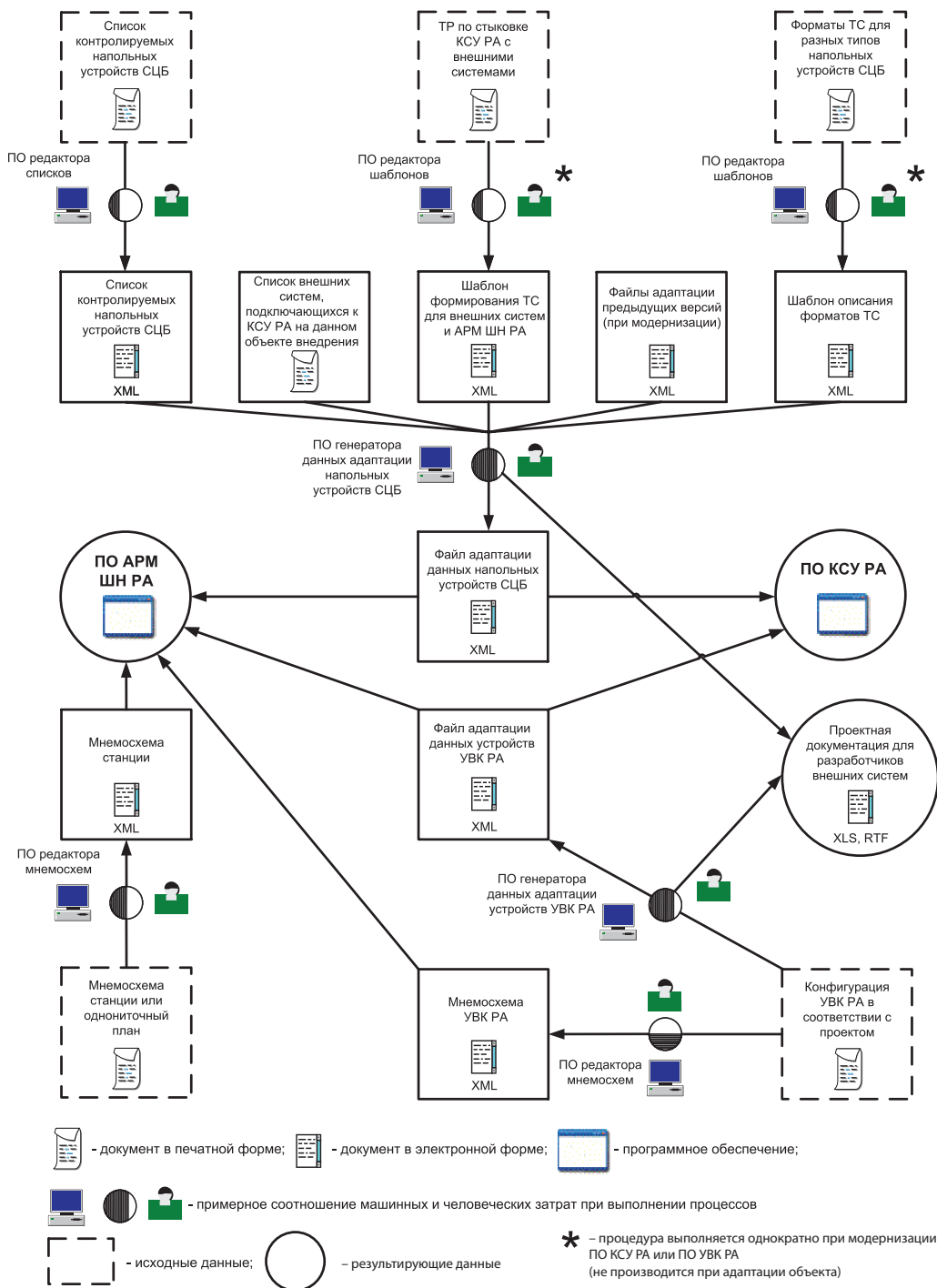
Разработчиками всех АРМов являются разные организации, в каждой используются уникальные форматы данных и редакторы мнемосхем. Разработка унифицированного формата позволила бы производить создание мнемосхемы однократно для каждого объекта внедрения.

В НТК ЖАТ ОАО «Радиоавионика» выполняются процессы адаптации диагностического ПО ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ, состоящего из ПО контрольно-связующего устройства (КСУ РА) и ПО автоматизированного рабочего места электромеханика (АРМ ШН РА). ПО КСУ РА выполняет функции обработки, формирования и передачи данных о работе ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ во внешние системы (ДК, ДЦ, систему маневровой автоматической локомотивной сигнализации МАЛС). Кроме того, КСУ РА формирует и передаёт данные в АРМ ШН РА. ПО АРМ ШН РА выполняет функции отображения контрольно-диагностической информации системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ. При разработке ПО КСУ РА и ПО АРМ ШН РА применяются следующие виды адаптации:

- адаптация выполняемых функций ПО путем включения в загрузочный модуль динамически компонуемых библиотек (DLL);
- адаптация параметров работы ПО в зависимости от варианта исполнения аппаратных средств и подключаемых внешних устройств в соответствии с проектом;
- адаптация сигналов состояния контролируемых устройств СЦБ (напольных устройств станции и прилегающих перегонов, модулей и линий связи управляющего вычислительного комплекса УВК РА, релейного-контактного интерфейса и т.д.) и адаптация мнемосхем.

Рассмотрим организацию процесса адаптации ПО КСУ РА и ПО АРМ ШН РА на примере адаптации сигналов состояния напольных устройств СЦБ (Рис. 1). Исходные данные переводятся в формат XML посредством специальных редакторов и загружаются в ПО генератора данных адаптации. Генератор автоматически создает файл адаптации, содержащий полную информацию о структуре и правилах преобразования сигналов состояния напольных устройств СЦБ, передаваемых от ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ в КСУ РА и от КСУ РА в АРМ ШН РА и внешние системы ДК, ДЦ, МАЛС. Проектная документация для внешних систем создаётся автоматически в процессе генерации файла адаптации.

Генерация файла адаптации сигналов состояния устройств УВК РА производится аналогичным образом.



Файлы адаптации используются при сборке загрузочных модулей адаптированных версий ПО КСУ РА и ПО АРМ ШН РА. В загрузочный модуль ПО АРМ ШН РА также добавляются XML-файлы мнемосхем устройств УВК РА, станции и прилегающих перегонов. Перевод мнемосхем в электронный вид осуществляется посредством ПО редактора мнемосхем. Привязка сигналов состояния устройств СЦБ к элементам мнемосхемы производится по строковым именам объектов при каждом запуске ПО АРМ ШН РА. Такой подход позволяет параллельно проводить процессы создания файлов адаптации сигналов и мнемосхем, а также вносить требуемые изменения в один из файлов адаптации без изменения других файлов адаптации.

Как видно из схемы на Рис. 1, процесс адаптации ПО КСУ РА и ПО АРМ ШН РА автоматизирован на всех этапах. Изменение путевого развития станции не приводит к необходимости производства большого объема работ по модернизации файлов адаптации. При этом ПО генератора сигналов адаптации включает функцию генерации модернизированного файла с учетом распределения сигналов в файле адаптации предыдущей версии. При использовании этой функции добавление или удаление контролируемых устройств СЦБ не приводит к нарушению структуры данных предыдущей версии (вся новая информация добавляется в неиспользуемые поля или в конец структуры), что облегчает проведение процесса адаптации в организациях-производителях внешних систем.

Дальнейшее совершенствование процесса адаптации ПО систем ЖАТ обусловлено решением следующих задач:

- внедрением системы (систем) электронного документооборота между организациями-субподрядчиками;
- созданием типовых шаблонов проектируемых станций;
- согласованием унифицированного протокола взаимодействия систем ЖАТ;
- максимально возможным исключением влияния «человеческого фактора» и переходом к автоматическому выполнению процесса адаптации.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ ОС WINDOWS, РЕАЛИЗУЮЩЕЕ ФУНКЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА С СИСТЕМАМИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ



И.А. КРАСИЛЬНИКОВ
Начальник отдела
сетевой интеграции НТЦ
ПО НТК ЖАТ



А.В. УСЕНКО
Ведущий инженер
НТЦ ПО НТК ЖАТ

В статье описаны методы разработки и особенности построения архитектуры программного обеспечения под управлением ОС Windows, реализующего функции информационного обмена с системами реального времени. Проанализирован опыт разработки на примере программного обеспечения тестирующего комплекса для системы ЭЦ-ЕМ / АБТЦ-ЕМ и контрольно-связующего устройства с требованиями по безопасности.

Системы реального времени (СРВ) характеризуются наличием ограничений, накладываемых на временные характеристики их функционирования, нарушение которых равнозначно отказу системы (жесткое реальное время) или снижению качества работы системы (мягкое реальное время). Из временных характеристик СРВ можно выделить следующие:

- дедлайн – крайний срок, к которому должна быть завершена задача;
- латентность – время отклика (реакции) системы на внешнее воздействие.

Дедлайн является внутренней характеристикой вычислительного процесса системы. Латентность является основной характеристикой СРВ и определяет параметры ее функционирования, в том числе временные характеристики информационного обмена.

В качестве программной платформы для СРВ используются специализированные операционные системы реального времени (ОСРВ), архитектура и реализация которых позволяют обеспечить необходимые временные характеристики (например, ОС QNX, ОС VxWorks).

В современных микропроцессорных системах ЖАТ реализовано взаимодействие двух и более СРВ. Для проведения отладки и испытаний таких систем целесообразно заменять одну или несколько СРВ на их имитационные модели (далее — имитаторы).

При создании имитаторов желательно минимизировать затраты на их разработку, использование и обслуживание. Снижение затрат обеспечивается:

- использованием в качестве аппаратной части имитатора персональных IBM PC – совместимых ЭВМ вместо дорогих промышленных ЭВМ и ЭВМ специального назначения;
- использованием в качестве программной платформы для программной части имитатора операционных систем (ОС) общего назначения, таких как ОС Windows, ОС Linux.

Снижение затрат при использовании ОС общего назначения обусловлено:

- опытом работы персонала, проводящего испытания, с ОС общего назначения. Как следствие, отсутствует необходимость обучения персонала работе со специализированными операционными системами;
- наличием большего числа разработчиков ПО для ОС общего назначения, чем для специализированных ОС.

При написании данной статьи был использован опыт разработки ПО контрольно-связующего устройства (КСУ РА), входящего в состав системы ЭЦ-ЕМ, и ПО «Имитатор УСО», входящего в состав комплекса тестирующего ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ. ПО «Имитатор УСО» и ПО КСУ РА разработаны для функционирования под управлением ОС Windows. При разработке ПО «Имитатор УСО» учитывались следующие требования к временным характеристикам обмена устройств системы ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ:

- время реакции устройства сопряжения с объектами (УСО) на запросы центрального постового устройства (ЦПУ) – не более 55 мс;
- погрешность передачи запросов от УСО в ЦПУ – не более 5 мс.

Особенности ОС Windows, усложняющие разработку ПО с жесткими временными характеристиками:

1. Планирование и диспетчеризация потоков процессов. В отличие от ОС Windows, ОСРВ должна реагировать на внешние воздействия в течение заданных временных интервалов. Это достигается созданием расписания статического планирования или алгоритма динамического планирования на основе информации о временах выполнения, моментах активизации и предельных сроках ожидания ответа всего набора выполняемых задач. В ОС Windows используются смешанные (основанные на квантовании и

приоритетах) вытесняющие алгоритмы планирования, не предназначенные для соблюдения условий реального времени.

2. Временные характеристики. В ОСРВ используются высокоточные программные таймеры, позволяющие использовать временные интервалы до микро- и даже наносекунд. В ОС Windows потребности в такой точности нет, и разрешение системного таймера исчисляется десятками миллисекунд (15,625 мс в ОС Windows XP, 2000).

Для достижения необходимых временных характеристик функционирования программного обеспечения в ОС Windows можно использовать следующие возможности:

1. Повышение приоритета процессов до приоритета реального времени. Вследствие вытесняющего алгоритма планировщика такие процессы получают процессорное время в первую очередь.
2. Использование библиотеки мультимедиа-таймеров, позволяющей уменьшить дискретность временных интервалов до 1 мс.
3. Использование счетчика тактов процессора (функции WinAPI `QueryPerformanceCounter()` и `QueryPerformanceFrequency()`) для измерения временных интервалов с точностью до наносекунд.

Наиболее значимой среди временных затрат, не связанных с непосредственной обработкой данных, являются затраты на ожидание окончания операций ввода-вывода данных во внешние устройства и системы. Для устранения данной задержки в ОС Windows применяются следующие решения:

1. Использование асинхронных операций ввода-вывода с уведомлением об их окончании посредством событий.
2. Создание в процессе отдельных потоков, осуществляющих синхронный ввод-вывод и производящих обмен принятыми и отправляемыми данными с потоками обработки данных через общие области памяти.

На временные характеристики программы влияет выбор архитектуры программного обеспечения. Исходя из успешного опыта разработки ПО «Имитатор УСО» и ПО КСУ РА, определены следующие варианты архитектуры.

Вариант 1. Архитектура ПО с событийным управлением вычислительным процессом. В данном варианте используется парадигма событийного программирования. Основной поток программы большую часть времени находится в состоянии ожидания событий синхронизации:

- срабатывания периодических таймеров, сигнализирующих о необходимости выполнения определенной задачи;
- уведомления о завершении асинхронной операции ввода-вывода.

При получении одного из событий поток выполняет связанные с данным событием действия и снова переходит в состояние ожидания. При таком подходе и при отсутствии задач, связанных с длительной обработкой данных, выполнение всех задач можно реализовать в одном потоке. При наличии задач, связанных с длительной обработкой данных, обработку целесообразно выделить в отдельные потоки с приоритетом ниже приоритета основного потока. В этом случае основной поток будет обеспечивать диспетчеризацию данных для потоков обработки.

Вариант 2. Архитектура ПО, основанная на применении конечных автоматов. В данном варианте используется парадигма автоматного программирования. Вычислительный процесс включает в себя потоки обмена данными, осуществляющие синхронные операции ввода-вывода, и потоки обработки данных. Потоки работают в цикле конечного автомата, периодически проверяя наличие входных данных и определяя необходимость выполнения определенных задач.

В первом варианте архитектуры можно добиться наименьшего времени отклика системы, поскольку интервал времени с момента поступления входных данных до момента начала их обработки и интервал времени с момента формирования выходных данных до момента их отправки минимальны.

Во втором варианте архитектуры временные характеристики зависят от разрешающей способности системного таймера. В случае наличия одного потока обработки данных максимальная дополнительная задержка с момента поступления данных до момента начала их обработки составляет двойную погрешность системного таймера. При использовании мультимедиа-таймеров в ОС Windows разрешающая способность системного таймера составит 1 мс, а максимальная дополнительная задержка – 2 мс.

Обмен данными между потоками целесообразно выполнять с использованием специальных структур данных, включающих в себя объекты синхронизации (такие как события, мьютексы, семафоры) для уведомления об обновлении данных и взаимного исключения при доступе к данным из разных потоков. Структуры могут быть организованы:

1. В виде обычного буфера данных. В этом случае поток, производящий запись, перед записью новых данных в буфер должен проверить факт передачи предыдущих данных в обработку. Состояние, при котором в момент записи новых данных предыдущие данные не переданы в обработку, является ошибкой.
2. В виде очереди типа «First In, First Out» (FIFO). В этом случае ошибкой является переполнение очереди.

Для отслеживания потенциальных ошибок, связанных с несоблюдением временных характеристик, необходимо контролировать интервал времени

с момента получения данных до момента реакции ПО на эти данные (завершение обработки, отправка ответа).

Приведенные выше варианты архитектуры ПО не являются взаимоисключающими, допускается их комбинирование. Например, в ПО «Имитатор УСО» используются реализованные на основе конечных автоматов потоки обмена, обеспечивающие выполнение синхронных операций ввода-вывода, и управляемые событиями потоки обработки данных. Для обмена данными между потоками используются общие области памяти с уведомлениями о поступлении новых данных по событиям. ПО КСУ РА, к которому предъявляются требования по безопасности, полностью реализовано на основе конечных автоматов, что обеспечивает отсутствие возможной недетерминированности работы ПО, связанной с реализацией ожидания множества событий средствами операционной системы.

При эксплуатации ПО «Имитатор УСО» не было зафиксировано ни одного сбоя, связанного с нарушением временных характеристик обмена.

Опыт успешной эксплуатации разработанного ПО доказал применимость выбранных методов разработки и возможность использования программного обеспечения на платформе Windows, реализующего функции информационного обмена с системами реального времени.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ Е И СХЕМНОЙ Е-СЕТЕЙ



А.М. БЕЛОУС
*Инженер ИЦ ЖАТ
ПГУПС*



А.В. ГРОШЕВ
*Директор НТЦ УВК
НТК ЖАТ, к.т.н.*

В статье рассмотрены основные свойства средств имитационного моделирования на основе Е-сети и схемной Е-сети, а также возможность их применения на различных этапах проектирования отказоустойчивых, безопасных управляющих микропроцессорных устройств.

Под отказоустойчивостью обычно понимают свойство устройства управления сохранять работоспособное состояние при отказе той или иной части его программно-аппаратных средств. К безопасным относят устройства, которые в течение требуемого времени с заданной вероятностью способны сохранять исправное, работоспособное и защитное состояния. Отказоустойчивые, безопасные управляющие микропроцессорные устройства входят в состав, например, управляющего вычислительного комплекса разработки ОАО «Радиоавионика» (УВК РА), который используется для создания систем электрической централизации и автоблокировки (ЭЦ-ЕМ). В частности, перечисленными выше свойствами обладают центральное постовое устройство (ЦПУ), устройства связи, обеспечивающие релейно-контактный (УСО) или бесконтактный (УСО-БК) интерфейс с объектами управления. Как правило, свойство отказоустойчивости достигается за счет использования в устройстве определенной избыточности (резервирование на уровне каналов или электронных узлов, избыточности в программном обеспечении). Уровень отказов, при котором не происходит деградация (снижение произ-

водительности или объема выполняемых задач), определяется объемом вводимой избыточности.

Сложность разработки отказоустойчивых, безопасных управляющих микропроцессорных устройств (МПУ) зачастую определяет необходимость представления устройства или отдельных его фрагментов в виде моделей, отражающих специфику структуры и функционирования, удобных для использования на различных этапах проектирования.

Так, для этапа системного проектирования определяющими являются структура устройства в виде блоков и следующие особенности вычислительного процесса:

- функционирование в реальном масштабе времени;
- асинхронность программной реализации большей части задач;
- наличие параллелизма информационных потоков и процедур обработки в мультиплексных и резервированных структурах, что может приводить к конкуренции задач за получение ресурсов.

Даже в однопроцессорных устройствах без резервирования в иницированном, но в незавершенном состоянии может находиться целый ряд процедур обработки информации, в связи с чем анализ функционирования при сбоях и отказах приводит к необходимости рассмотрения их параллельного выполнения. Следует отметить, что каждый процесс, протекающий в таком устройстве, строго последователен по порядку выполнения команд, определяемому программой и данными. Вместе с тем относительный порядок выполнения команд, принадлежащих различным процессам, не детерминирован. Поэтому можно говорить о независимости одного процесса от другого и рассматривать множество этих процессов как полностью асинхронных. Таким образом, МПУ могут рассматриваться как системы, функционирующие в реальном масштабе времени с множеством параллельных асинхронных процессов (АП).

В отказоустойчивых МПУ, в которых, как правило, используется резервирование, между параллельно протекающими АП в резервированных каналах в тот или иной момент времени возникает конкуренция за доступ к определенным ресурсам. Это может касаться, например, общей памяти, канала обмена, доступа к контрольной информации и т.д. Моделирование (прежде всего, имитационное моделирование) и анализ его результатов на этапе системного проектирования позволяет во многом предотвратить возможность возникновения межпроцессорных конфликтов, например, путем введения приоритета доступа, дополнительной синхронизации процессов во времени и т.д. На этапе технического проектирования модель, по возможности, должна отражать структуру МПУ с большей детализацией и следующие особенности функционирования:

- асинхронность функционирования отдельных электронных узлов в связи с зависимостью длительности микроопераций от многочисленных, неконтролируемых факторов;
- упорядоченность выполнения микропроцедур за счет выделения фаз (начальной, активной, заключительной);
- согласованность совместного функционирования различных электронных узлов, например, по принципу «запрос-ответ»;
- цикличность выполнения микропроцедур.

Следует отметить, что процесс разработки МПУ является итеративным, содержащим взаимосвязанные процедуры системного и технического проектирования. В соответствии с этим целесообразным представляется моделирование на наиболее обобщенном (системном) уровне и моделирование с необходимой детализацией осуществлять на единой базе, обеспечивающей возможность отображения:

- структуры МПУ;
- вычислительного процесса;
- динамики выполнения процедур;
- временных параметров;
- конфликтных ситуаций.

При этом для удобства ее исследования модель должна быть наглядной, компактной, обеспечивать простой переход к аппаратурной реализации.

Одной из самых наглядных моделей, описывающих структуру и взаимодействие параллельных процессов, является имитационная сеть Петри (СП) – [1]. На базе СП был разработан целый ряд модификаций, в каждой из которых делается упор на тот или иной аспект исследования взаимодействия процессов (анализ временных параметров, ситуаций, связанных с возможностями «состязаний» асинхронных процессов при необходимости доступа к единым ресурсам, цикличности возобновления процессов и т.д.).

Наиболее полной модификацией СП, позволяющей совместить описательные и анализирующие свойства имитационной модели, является E – сетевая модель (E) [2] и ее модификация – схемная E – сеть (Ec) [3].

E задается следующей совокупностью множеств:

$$N_E(B, B_p, B_R, D, M_o) \quad (1),$$

где B – конечное множество позиций, $B \neq \emptyset$;

B_p – множество периферийных позиций, $B_p \subset B$;

B_R – множество решающих позиций, $B_R \subset B$;

M_o – начальная маркировка сети;

D – множество описаний переходов d_i , $D \neq \emptyset$;

$d_i(S, t(d_i), \rho)$, где S – тип перехода;

$t(d_i)$ – время срабатывания перехода;
 ρ – процедура перехода.

В качестве динамических элементов в E используются маркеры (метки), которые, в свою очередь, могут обладать набором признаков (атрибутами). Собственно, наличие в позиции маркера как носителя атрибута ассоциируется в E с наличием определенного процесса (например, наличие маркера в позиции может означать, что происходит некоторый процесс обмена, канал занят и т.д.). И наоборот, отсутствие маркера в позиции может ассоциироваться с отсутствием процесса обмена, означать свободу канала и т.д. Срабатывание перехода в E – сети моделирует некоторое событие не только на уровне всех необходимых условий, но и отражает ряд операций, связанных с этим событием, например, посредством модификации атрибутов маркеров в выходной позиции перехода в соответствии с его процедурой ρ . Наряду с относительно простыми переходами, в E имеются и крупные структурные переходы типа X_E и Y_E , наличие которых позволяет решить вопросы наглядности и компактности представления конечной модели устройства. Обычно в ходе исследования функционирования устройства путем имитационного моделирования структурными переходами последовательно заменяются те или иные фрагменты модели, которые до этого с целью детализации взаимного влияния различных АП были представлены несколькими простыми переходами. Чаще всего детализация требуется в узлах общей модели («подозрительные» точки модели), связанных с моделированием ситуаций взаимодействия нескольких процессов, например, при обращении к ограниченному ресурсу, разветвлении одного потока информации в нескольких направлениях, объединении нескольких потоков данных в один или с учетом разветвления результата и т.д. Проанализировав фрагмент модели на базе простых переходов, расставив в результате анализа приоритеты обработки тех или иных процессов (определив, фактически, для переходов параметры S , t , ρ), исследователь осуществляет замену фрагмента одним (максимум двумя) макропереходами типа X_E , Y_E с соответствующими описаниями, включая тем самым его (их) в конечную модель устройства. Будучи достаточно эффективным инструментом для проектирования многоканального МПУ на системном этапе, средства E не позволяют адекватно отобразить в модели поведение отдельных электронных узлов, что важно для применения на этапе технического проектирования, то есть на этапе синтеза принципиальных схем отдельных электронных узлов МПУ.

Поэтому на этапе технического проектирования можно воспользоваться моделью устройства на основе схемной E – сети.

Схемная E – сеть, имеющая обозначение E_s , также может быть задана выражением (1). Но при этом есть определенные отличия от E , прежде всего

это касается представления в сети позиций. В средствах *Ес* позиция рассматривается как макропозиция в том смысле, что может быть представлена моделью некоторой локальной сети на основе *Е*. При этом имеются две модели, одна из которых создана для входных позиций переходов, а другая — для выходных позиций. Такой подход позволяет добиться того, что даже в немаркированной позиции *Ес* (при отсутствии маркера) поддерживается определенный атрибут. Например, при перемещении в модели маркеров *Z*, несущих атрибут 0, или маркеров *Z**, несущих атрибут 1, различные маркировки позиций могут быть записаны как $M(p)=0$; $M(p)=1$; $M(p)=Z$; $M(p)=Z^*$, где $M(p)=Z$ – позиция с маркером *Z*;

$M(p)=Z^*$ – позиция с маркером *Z**;

$M(p)=1$ – немаркированная позиция, в которой поддерживается атрибут 1 (после имевшейся промежуточной маркировки $M(p)=Z^*$);

$M(p)=0$ – немаркированная позиция, в которой поддерживается атрибут 0 (после имевшейся промежуточной маркировки $M(p)=Z$).

В результате в имитационной модели на базе *Ес* существуют возможно-сти более адекватного отображения работы дискретного элемента, поведение которого может быть представлено булевым выражением:

$$Z'_i = f_i(z_1 \dots z_i \dots z_n),$$

где Z'_i – «следующее» значение, который должен принять выход *i*-го элемента;

f_i – собственная функция элемента;

$z_1 \dots z_n$ – значение сигналов во входных узлах *i*-го элемента.

Действительно, между работой дискретного элемента (ДЭ) или электронного узла и срабатыванием его отображения в модели в качестве, соответственно, простого или структурного перехода существует определенная аналогия, а именно:

- если для срабатывания ДЭ необходима определенная комбинация сигналов на его входах, то для возбуждения перехода необходимо определенное сочетание маркировок во входных позициях;
- если срабатывание ДЭ рассматривать как изменение уровней выходных сигналов от одного состояния к другому, то аналогом в модели *Ес* может служить изменение маркировок в выходных позициях перехода;
- если срабатывание ДЭ происходит при появлении определенного фронта изменения входного двоичного сигнала, то в качестве аналога в модели *Ес* рассматривается появление маркера *Z* или *Z** во входных позициях перехода;
- если состояние ДЭ рассматривать как единичное или нулевое (в зависимости от уровня генерируемого на выходе сигнала), то переход в модели *Ес* рассматривается как включенный или выключенный (маркировка выходных позиций равна, соответственно, 1 или 0).

Таким образом, средства моделирования Ec могут рассматриваться в качестве базовых средств для создания имитационных моделей на этапе технического проектирования. Следует отметить, что в Ec , как и в E , для получения наглядной и компактной конечной модели могут использоваться крупные структурные переходы типа X_C и Y_C [3], призванные для «поглощения» того или иного фрагмента модели, состоящего из нескольких простых переходов. Такое «поглощение» может быть осуществлено после детального анализа работы фрагмента модели на основе простых переходов, в том числе после анализа работы этого фрагмента при имитации неисправностей. С другой стороны, при проектировании возможен и обратный случай. Например, изначально фрагмент модели синтезируется на основе структурного перехода, в описании которого формулируются правила его работы в общей модели. И если структурный переход «вписывается» в работу общей модели, то его описание (ρ , $t(d)$, S) может рассматриваться в качестве своего рода технического задания для проектирования соответствующего электронного узла. Следует отметить, что, приступая к проектированию электронного узла, разработчик дополнительно, на базе простых переходов Ec , может построить фрагмент модели, поведение которого эквивалентно поведению базового структурного перехода (например, для более детального анализа поведения электронного узла при имитации неисправностей). При положительном исходе анализа фрагмента модели Ec осуществляется переход к синтезу схемных элементов. На рисунке 1 представлен базовый набор схемных элементов и соответствующее отображение элементов в модели с помощью простых переходов Ec .

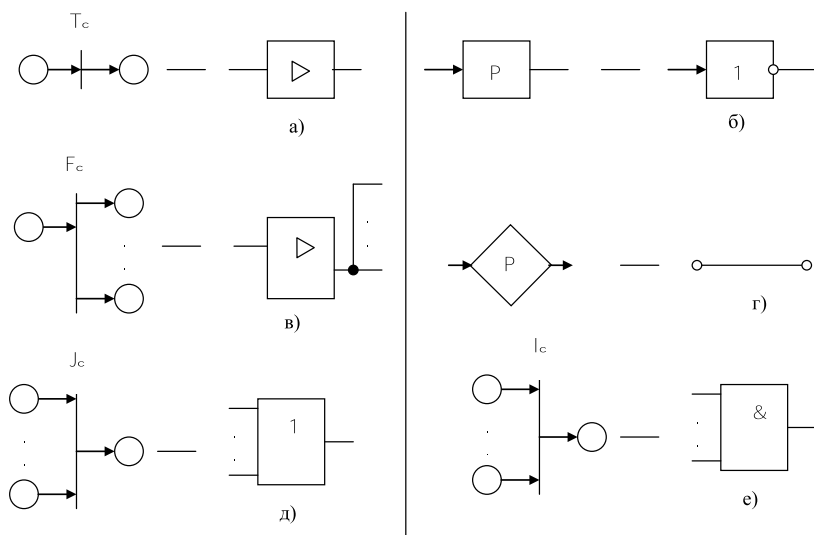


Рисунок 1. Базовый набор схемных и логических элементов и их соответствующее отображение в Ec . а) усилитель сигнала; б) инвертор; в) усилитель с разветвлением;

Важно отметить, что наличие, наряду с простыми переходами, в E_c крупных структурных переходов позволяет использовать средства E_c и на этапе системного проектирования.

Выше были рассмотрены основные отличия сетей E и E_c . Но существует еще одно существенное различие между ними.

Характерной особенностью E – сети является имитация занятости перехода. Например, переход типа T_E , для которого сложились входные условия для срабатывания, срабатывает, если его выходная позиция пуста, и не срабатывает, если она занята, то есть в выходной позиции находится маркер. Такая трактовка одного из условий срабатывания перехода позволяет E обладать свойством безопасности, которое не допускает появления в одной позиции более одного маркера. Таким образом, появление в модели E ситуации занятости перехода по выходным маркировкам на фоне наличия условия срабатывания, определяемого входной маркировкой, процедурой и временной задержкой, может рассматриваться в качестве конфликтной ситуации. На рисунке 2 отображен пример конфликта на базе простого перехода T_E . В данном случае появление занятого перехода может интерпретироваться как возможность появления в МПУ следующей ситуации. Например, в интерфейсном канале происходит процесс обмена ($M(p2)=Z$, где Z – маркер с определенным атрибутом), поступает запрос на следующий обмен ($M(p1)=Z^*$, где Z^* – маркер с отличным от Z атрибутом). Естественно, что, например, при нулевой задержке в срабатывании перехода T_E сложившуюся ситуацию можно рассматривать как конфликтную, несмотря на то, что по правилам E условия безопасности не нарушаются.

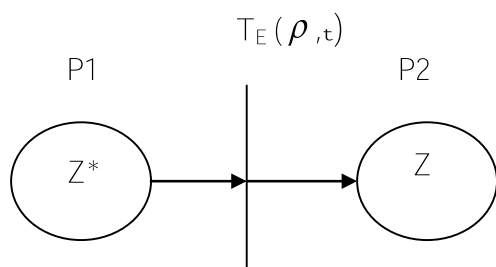


Рисунок 2. Пример конфликта в E

Рассмотрим такую же ситуацию для перехода $T_{Cl}(\rho, t)$ в E_c . На рисунке 3 приведен пример конфликта на базе простого перехода T_C , где Z – маркер с атрибутом 0, Z^* – маркер с атрибутом 1.

Маркировка $M(p2) = Z$ говорит о срабатывании T_{Cl} на выключение, то есть позволяет предположить,

что на выходе ДЭ, аналогом которого в E_c является переход T_{Cl} , происходит переходный процесс, связанный с переходом выхода ДЭ в нулевое состояние. В то же время наличие $M(p1) = Z^*$ при нулевой задержке в срабатывании T_{Cl} указывает на тот факт, что на фоне выключения перехода сложились условия на его включение, что аналогично стремлению ДЭ опять переключить выход в высокий уровень напряжения. Поскольку правила E_c позволяют сработать переходу, то в результате маркировка позиции $p2$ становится

неоднозначна ($M(p2) = ZZ^*$), что рассматривается в Es как конфликт, а, следовательно, достаточно наглядно указывает на возможность «состязаний» в схеме электронного узла, синтезированного на базе этой модели.

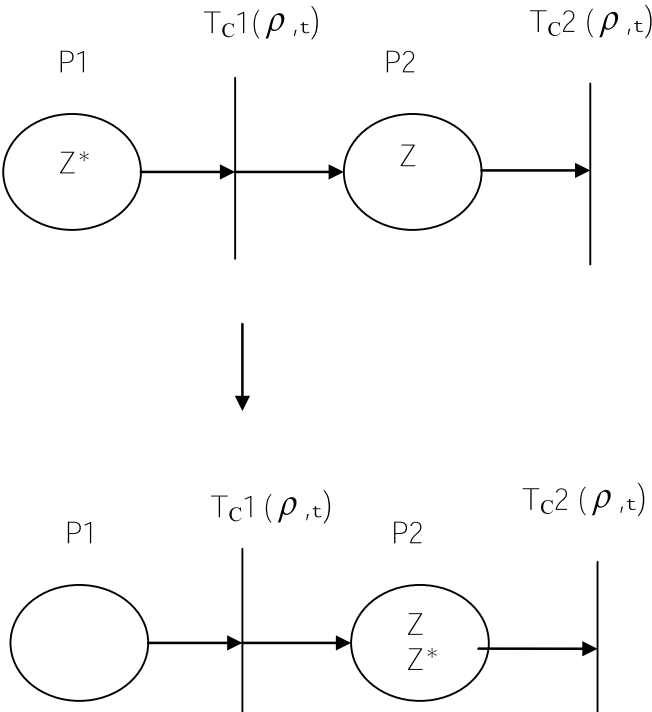


Рисунок 3. Пример конфликта в Es

Следует отметить, что это единственная в Es ситуация, при которой в одной позиции может появиться два маркера (но обязательно с разными атрибутами).

С одной стороны, наличие возможности достижения в модели Es неоднозначной маркировки позиции могло бы быть достаточным основанием, чтобы считать, что средства Es не обладают свойством безопасности. С другой стороны, в правилах сети отсутствуют условия срабатывания следующего перехода (например, T_{c2}), для которого позиция $p2$ является входной, при наличии в ней двух маркеров. Это означает, что функционирование сетевой модели в целом или, по крайней мере, в соответствующем фрагменте сети будет остановлено. Поскольку в любом случае результирующая маркировка в сети не будет достигнута, это приведет к необходимости внесения доработок в модель. Учитывая вышесказанное, Es можно отнести к разряду квази-безопасной сети, в которой допускается нарушение безопасности, после чего функционирование модели в целом прекращается. Причем нарушение безопасности допускается исключительно в целях наглядного представления

ситуации конфликта. Поиск конфликтных ситуаций в модели E_c особенно важен при анализе работы сетевой модели при внесении неисправностей, которые имитируются путем целенаправленной модификации описания того или иного перехода (изменение временной задержки в срабатывании, типа перехода, модификация параметров в процедуре перехода) [4].

Таким образом, по результатам рассмотрения моделирующих возможностей средств E и E_c можно сделать вывод, что одной из самых важных задач, решаемых на этапе создания и анализа работы имитационной модели отказоустойчивого, безопасного управляющего МПУ, является поиск возможных конфликтов в сети, в том числе и при имитации неисправностей, что, в конечном итоге, помогает избежать многих ошибок при переходе к стадии синтеза принципиальных схем МПУ.

Литература:

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М., 1984.
2. Советов Б.Я., Кутузов О.И., Головин Ю.Л., Аветов Ю.В. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации. М., Высшая школа. 1987.
3. Грошев А.В., Маковеев О.Л. Средства моделирования микропроцессорного устройства схемной Е-сетью. /Судостроительная промышленность// Сер. Автоматика и телемеханика. 1990. Вып. 9.
4. Грошев А.В. Моделирование неисправностей в работе устройств управления схемной Е-сетью. /Судостроительная промышленность// Сер. Автоматика и телемеханика. 1991. Вып. 11.



СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ ГЕОЛОКАЦИЯ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ИНЖЕНЕРНОЙ РАЗВЕДКИ



В.А. НИКОЛАЕВ

*Директор НТК СГЛ,
главный конструктор*



Н.А. ОХТЕНЬ

Директор НТЦ КРГК

В статье представлены результаты многолетнего эффективного сотрудничества ОАО «Радиоавионика» и Министерства Обороны Российской Федерации в области разработки и применения средств инженерной разведки, использующих метод сверхширокополосного радиолокационного зондирования, рассмотрены основные перспективные направления дальнейшей деятельности.

В России, практически одновременно с другими развитыми странами, развернуты исследования в новой области техники, созданы и приняты на снабжение Вооруженных Сил радиолокационные средства инженерной разведки первого поколения. Важнейшей особенностью и главным преимуществом средств такого типа, по сравнению с традиционными, является высокое пространственное разрешение, позволяющее строить двух- и трехмерные изображения подповерхностного пространства и обнаруживать как визуально, так и автоматически, мины и другие взрывоопасные предметы (ВОП), в том числе не содержащие металлических частей, обеспечивая низкий уровень срабатываний от ложных целей и предметов-помех. Этими свойствами не обладают стоящие на вооружении средства поиска мин, построенные на магнитно-индукционном принципе действия.

Начиная с 1993 года, сотрудниками НТЦ СГЛ проведен значительный объем уникальных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в интересах Министерства обороны Российской Федерации, позволивший пройти путь от теоретических изысканий до серийно выпускаемых современных технических средств инженерной разведки.

Так, в 2000 году была завершена научно-исследовательская экспериментальная работа по теоретическим и экспериментальным исследованиям

в интересах создания СШП радиолокационных обнаружителей для подповерхностного зондирования земной поверхности в вариантах ранцевого, автомобильного и вертолетного.

В рамках НИЭР были получены практические результаты по радиолокационным обнаружителям с вертикальным зондированием: решена проблема обработки и анализа сигналов в условиях отрыва антенн от поверхности зондируемой среды и ручного пилотирования поискового элемента, определены пути создания широкозахватного автомобильного геолокатора с вертикальным зондированием, разработаны и изготовлены экспериментальные образцы носимого радиолокационного миноискателя. Способ поиска мин сверхширокополосным георадаром, отработанный в ходе выполнения НИЭР, позднее был защищен патентом на изобретение № 2248018 с приоритетом от 26 января 2004г. Экспериментальный образец носимого радиолокационного миноискателя с успехом прошел полевые испытания и опытно-войсковую эксплуатацию в частях, выполняющих боевые задачи по разминированию участков местности и инженерных объектов в Чечне, и показал работоспособность и перспективность нового типа средств инженерной разведки в реальных условиях боевого применения.

На пути создания экспериментального образца миноискателя проведены многоплановые исследования технических проблем, связанных с формированием и излучением коротких зондирующих импульсов в неоднородную среду, особенностями распространения импульсных электромагнитных волн и их рассеяния на локальных аномалиях естественного и искусственного происхождения, приемом и обработкой отраженных сигналов в условиях априорной неопределенности в отношении свойств среды и условий поиска. Одновременно при этом отрабатывались технические, технологические и конструктивно-эргономические вопросы, связанные с особенностями применения миноискателя в полевых условиях.

Результаты НИЭР реализованы в период с 2002 по 2006 год в опытно-конструкторской работе по созданию СШП радиолокационных искателей взрывоопасных предметов ИВП-РЛ1 и ИВП-РЛ2, предназначенных для поиска ВОП в грунте, снегу, под дорожными покрытиями и в строительных конструкциях на глубинах от 0 до 20 см (для ИВП-РЛ1) и от 10 до 100 см (для ИВП-РЛ2). В рамках ОКР выполнено семь составных частей, направленных на разработку методологического и метрологического обеспечения, создание уникальных микроэлектронных устройств и электронных узлов, обеспечивших достижение требуемых тактико-технических характеристик во всем диапазоне внешних воздействий, характерных для носимой радиоэлектронной аппаратуры военного назначения.

В ходе выполнения ОКР разработан сверхширокополосный радиолокационный измерительно-вычислительный комплекс (ИВК), основным на-

значением которого является детальное исследование процесса рассеяния сверхширокополосных сигналов на различных объектах, наполнение базы данных по радиолокационным характеристикам ВОП, определение номенклатуры признаков устойчивого их распознавания.

Созданные в рамках ОКР измерительные и технологические комплексы, уникальные по своим метрологическим характеристикам в области СШП измерений, позволяют разрабатывать и осваивать новые технологии и методики выполнения измерений, совершенствовать алгоритмическое и программное обеспечение, существенно повышают производительность и качество отработки радиолокационных средств инженерной разведки. К значимым особенностям искателей ИВП-РЛ1 и ИВП-РЛ2 следует отнести автоматизированный интерактивный интерфейс с оператором, определение границ и глубины расположения обнаруженного объекта со звуковым оповещением о типе и глубине, автоматическую селекцию обнаруженного объекта экспертной системой с использованием базы данных эталонных сигнатур, вывод пригодного для анализа оператором радиолокационного изображения зондируемой среды на автономный графический дисплей с беспроводным каналом связи.

Применение в ИВП-РЛ1 и ИВП-РЛ2 мощного вычислительного устройства позволило обеспечить совершенствование его поисковых характеристик в процессе эксплуатации без изменения конструкции, наращивать базу знаний прибора по объектам и условиям поиска, адаптировать для решения новых поисковых задач.

Приказом Начальника Инженерных войск в 2007 году средства инженерной разведки нового поколения – искатели ИВП-РЛ1 и ИВП-РЛ2 приняты на снабжение Вооруженных Сил Российской Федерации. Анализ публикуемой научно-технической информации позволил сделать выводы, что ИВП-РЛ1 и ИВП-РЛ2 по своим характеристикам не уступают зарубежным аналогам: миноискателю AN/PSS-14 (ранее HSTAMIDS), принятому на вооружение армии США в 2006 году, и миноискателю MINEHOUND™ VMR2 производства фирмы VALLON (Германия), стоящему на вооружении армий стран НАТО.

Следует отметить, что принцип действия данных миноискателей основан на совместном использовании радиолокационного (подповерхностный радиолокатор) и электромагнитного индукционного (металлодетектор) каналов, причем большинство поисковых характеристик обусловлены работой именно металлодетектора, а данные радиолокатора носят вспомогательный характер. Кроме того, в данных разработках отсутствуют системы автоматического обнаружения и распознавания объектов, вся ответственность о принятии решения ложится на оператора.

По действующей противоминной программе США расходы на разработку AN/PSS-14 составили более 73 млн. долларов за 15 лет. В 2008-2010 годах

выделены существенные средства на разработку и совершенствование методик применения системы, создание автоматизированных средств обучения операторов, отработки приемов работы с AN/PSS-14 и сертификации операторов. Объявлено о контракте с фирмой CyTerra Corporation на поставку в течение 5 лет 14 000 систем AN/PSS-14 на общую сумму более 300 млн. долларов. Ведутся работы по созданию системы обнаружения мин автомобильного базирования GSTAMIDS.

Перспективы развития автоматизированных радиолокационных средств инженерной разведки различных видов базирования неразрывно связаны с опережающим созданием информационного обеспечения этих средств, включающего разработку технологии формирования сигнатур и информационное насыщение баз данных (знаний) радиолокационным представлением об элементах фоноцелевой обстановки.

Значение создаваемых баз данных многократно возрастает при создании и применении широкозахватных радиолокационных средств инженерной разведки автомобильного и воздушного базирования, для которых поток входной информации возрастает в сотни раз при жестком требовании его автоматической обработки в реальном масштабе времени.

Для определения путей решения этих проблем проведена НИР (завершена в 2009 году), целями которой являлись разработка структуры и наполнение наращиваемой базы СШП радиолокационных сигнатур (признаковых описаний) боевых мин и ВОП в различной фоноцелевой обстановке, совершенствование алгоритмов обработки сигналов в интересах развития поисковых характеристик ИВП-РЛ1 и ИВП-РЛ2 до потенциально возможных и создание научно-технического задела для широкозахватных сверхширокополосных радиолокационных средств инженерной разведки различных видов базирования.

В результате выполнения НИР разработаны методики экспонирования объектов поиска, проведена модернизация СШП измерительно-вычислительного комплекса, обеспечивающая как достижение цели НИР, так и постоянное дальнейшее наращивание объема и номенклатуры базы данных в подразделениях Министерства Обороны, разработаны алгоритмы обработки данных, усовершенствовано рабочее программное обеспечение ИВП-РЛ1 и ИВП-РЛ2, выполнено первичное наполнение базы данных.

Работа проводилась совместно с 15 ЦНИИИ МО РФ (участие в разработке методик экспонирования боевых объектов поиска и запись радиолокационных данных) и 18 ИП МО РФ (запись радиолокационных данных, экспериментальная отработка рабочих программ для ИВП-РЛ1, ИВП-РЛ2 в условиях применения), общее число записей радиолокационных сигналов от каждого объекта составило более 300 тыс. файлов.

В процессе лабораторных и натурных испытаний продемонстрирована возможность снижения уровня ложных тревог в 10 - 12 раз за счет автоматической селекции по накопленным сигнатурам.

НТЦ СГЛ также выступал как исполнитель составной части НИР по исследованию технических путей создания технологии и оборудования радиолокационного подповерхностного зондирования для получения в реальном масштабе времени двумерных и трехмерных радиоизображений заглубленных объектов. Объектом исследования НИР являлись поисковые комплексы на основе подповерхностных радаров и дополнительных датчиков, таких как металлодетекторы, нелинейные локации и ИК камеры.

В ходе выполнения данной НИР построены геометрические и физико-математические модели ВОП и ложных целей, предложен новый метод сбора и обработки данных, позволяющий получать изображения малоуглубленных объектов поиска, разработаны конструктивно-технические решения основных узлов макета СШП радиолокационного многоканального поискового комплекса и определен состав алгоритмического и программного обеспечения макета.

Разработанный метод позволил построить контурные изображения беспрецедентного до сих пор качества и детальности за счёт использования преломляющих свойств укрывающих сред. Глубины, при которых удаётся получить качественное изображение объектов, превосходят достигнутые ранее не менее чем в 2 раза. Продemonстрирована возможность получения таких изображений в исключительно тяжёлых для СШП радиолокации средах: сильно влажной и болотистой почве, в ряде случаев – в морской воде.

В 2009 году НТЦ СГЛ завершена ОКР по разработке переносного искателя проводных линий управления инженерными боеприпасами ИПЛ, предназначенного для обнаружения находящихся в грунте проводных линий в различной помеховой обстановке и установленных на поверхность грунта, в грунтах, в снегу и воде.

В 2009 году изготовлены опытные образцы искателя ИПЛ и с успехом проведены Государственные испытания, в ходе которых изделие получило исключительно положительную оценку представителей Министерства Обороны, отмечались высокий уровень достигнутых конструктивных, эргономических и эксплуатационных характеристик, актуальность разработки и потребность в изделии такого типа в войсках.

Приказом Главнокомандующего Сухопутными Войсками в конце 2010 года искатель ИПЛ принят на снабжение Вооруженных Сил РФ и предназначается для оснащения инженерных частей и подразделений взамен стоящего на вооружении искателя кабельных линий Р-299.

В течение последних трех лет специалистами НТЦ СГЛ был разработан и представлен целый ряд предложений по проведению комплекса НИОКР,

направленных на дальнейшее развитие отечественных средств инженерной разведки в части: разработки базового комплекта оборудования широкозахватных искателей ВОП вертикального и наклонного зондирования, создания промышленной технологии формирования системы исходных данных (целевого информационного обеспечения) для радиолокационных средств инженерной разведки, оснащенных системами искусственного интеллекта, разработки программного обеспечения для построения и координатной привязки двух- и трехмерных изображений зондируемого пространства, автоматической селекции ВОП, формирования информации о фоноцелевой обстановке экипажу разведывательных транспортных средств и на верхний уровень управления.

Следует признать, что на фоне проходящих многоплановых реформ Министерства Обороны и структуры формирования Государственного оборонного заказа разработанные средства инженерной разведки выпускаются единичными партиями (не более 10 штук в год), финансирование работ по реализации уникального научно-технического задела фактически прекращено, в связи с чем ряд исследований и технических разработок, минимально необходимых для поддержания достигнутого высокого уровня и конкурентоспособности отечественного научно-технического потенциала в области радиолокационных поисковых средств военного назначения, в данный момент проводится исключительно за счет собственных средств ОАО «Радиоавионика».

В целях экономически эффективной реализации научно-технических достижений, полученных в ходе разработок военного назначения, в рамках конверсии развернуто внедрение инновационных технологий неразрушающего контроля методом СШП радиолокационного зондирования для нужд городского хозяйства. Развернут широкий фронт работ по созданию и практическому применению аппаратных, алгоритмических, программных и методических средств неразрушающего контроля состояния автомобильных дорог, объектов культурного наследия, промышленных зданий, сооружений и конструкций, выявления дефектов и мониторинга технического состояния железнодорожного земляного полотна.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ НУЖД ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА



С.М. ШАБУРОВ

*Заместитель директора
НТК СГЛ*



В.И. КУЛИКОВ

*Начальник
лаборатории НТК СГЛ*

В статье представлены история внедрения метода сверхширокополосного (СШП) радиолокационного (РЛ) зондирования и перспективы применения данной технологии неразрушающего контроля для нужд городского хозяйства.

Одним из ведущих направлений деятельности ОАО «Радиоавионика» с 1993г. является создание систем сверхширокополосного радиолокационного исследования поверхностных слоев почвы по заказам Министерства Обороны Российской Федерации.

В рамках конверсии научно-технического задела, полученного по оборонной тематике, имеющиеся технические решения активно используются в гражданских секторах экономики.

Уже более шести лет ОАО «Радиоавионика» сотрудничает с Правительством Санкт-Петербурга и другими регионами России по вопросам внедрения инновационных технологий неразрушающего контроля методом сверхширокополосного радиолокационного зондирования для нужд городского хозяйства.

На начальном этапе внедрения сотрудниками предприятия совместно со специалистами ведущих организаций города и профильных Комитетов Правительства Санкт-Петербурга была проведена оценка пригодности аппаратуры и метода СШП РЛ зондирования для решения задач по отраслевым направлениям деятельности и определены перспективные области применения. Проведенные экспериментальные исследования по неразрушающему контролю состояния автомобильных дорог, объектов культурного наследия, промышленных зданий, сооружений и конструкций, изготовленных из раз-

личных материалов: бетон, железобетон (плиты перекрытия, фундаментные блоки, армированные монолитные межэтажные перекрытия, несущие монолитные опорные колонны и т.п.), кирпичная кладка (стены, своды), гранит, мрамор (конструкции памятников архитектуры), а также межэтажных перекрытий показали высокую эффективность метода для получения объективной информации о состоянии объекта. Дальнейшие усилия в работе были направлены на организацию взаимодействия с дорожно-строительными организациями, архитектурно-реставрационными мастерскими и другими организациями с целью внедрения метода для нужд городского хозяйства.

В рамках информационного обеспечения внедрения метода СШП РЛ зондирования специалисты предприятия принимали участие в международных и всероссийских специализированных выставках, выступали с докладами и презентациями на семинарах для специалистов города и других регионов России.

Наиболее востребованы технологии обследования дорожной одежды автомобильных дорог и объектов культурного наследия. Предприятием разработаны соответствующие методики, утвержденные профильными Комитетами Правительства Санкт-Петербурга и Новгородской области. При обследовании автомобильных дорог разработанные георадиолокационные аппаратные комплексы, технологическое и вспомогательное оборудование, прикладное программное обеспечение, методики неразрушающего контроля и обработки радиолокационных данных позволяют оперативно решать ряд важнейших задач:

- оценка качества выполняемых работ в процессе строительства и ремонта автомобильных дорог, определение толщины конструктивных слоев дорожной одежды, оценка однородности конструктивных материалов, обнаружение и определение глубины залегания структурных аномалий (пустоты, разуплотнения, зоны обводнения и т.п.);
- мониторинг и диагностика технического состояния дорожной сети с целью выявления дефектов на ранних стадиях их развития в процессе эксплуатации дорог для прогнозирования планово-предупредительного ремонта.

При обследовании памятников архитектуры и городской скульптуры использование разработанной аппаратуры и технологий обеспечивает получение объективной и более полной информации об устройстве и состоянии объекта и позволяет:

- обнаруживать скрытые полости и пустоты в структуре сооружения, предусмотренные в процессе строительства, выявлять нарушения и дефекты, возникшие в процессе эксплуатации при воздействии внешних факторов и естественного старения материалов;

- осуществлять диагностику состояния строительных конструкций и скульптур, изготовленных из различных материалов: кирпич, гранит, мрамор, известняк, дерево и др.;
- создавать модели конструкции с определением толщины конструктивных слоев, оценкой однородности (сплошности) конструкционного материала;
- проводить зондирование объектов без непосредственного контакта с их поверхностью и при одностороннем доступе.

Внедрение данного метода позволяет сократить невосполнимые потери важных конструктивных, декоративных и исторически значимых элементов, связанные с применением традиционных методов определения технического состояния объектов, и повысить эффективность проведения реставрационных работ.

Эффективность использования новой технологии неразрушающего контроля с использованием метода СШП РЛ зондирования определяется следующими факторами: высокой оперативностью проведения диагностики с возможностью получения результатов в масштабе реального времени; отсутствием необходимости в предварительной подготовке поверхности объектов контроля и универсальностью применения для решения ряда задач.

С целью практической реализации внедрения метода для нужд городского и областного хозяйств с профильными комитетами Санкт-Петербурга и Новгородской области разработаны Программы внедрения инновационной продукции предприятия.

В последние годы на договорной основе выполнен ряд работ по обследованию различных объектов городского хозяйства. Специалисты предприятия принимали участие в обследовании исторически значимых памятников архитектуры и городской скульптуры в Санкт-Петербурге и других регионах России: Петровские ворота Петропавловской крепости, купол Троицкого собора, городские «Королевские» ворота (г. Калининград), памятник Николаю I на Исаакиевской площади, Концертный зал в ГМЗ «Царское Село», скульптуры Атлантов портика Нового Эрмитажа и др. По заказам дорожных организаций проведен неразрушающий контроль состояния участков улично-дорожной сети города: вантовый мост через р. Нева, дорога А121, Синопская наб., Дунайский пр., участки КАД и др. Проведены работы по обследованию зданий промышленного назначения и жилого фонда, а также объектов специального назначения.

Приобретает актуальность задача поиска и трассирования инженерных коммуникаций (водопроводов, теплотрасс, электрических кабелей и т.д.). Экспериментальные исследования показывают, что имеющаяся аппаратура и технологии позволяют обнаруживать инженерные коммуникации без

проведения вскрытия и нарушения поверхностного слоя (покрытия дорог, травяного покрова, бетонных оснований инженерных сооружений). Особенно важное значение это имеет перед проведением земляных работ, так как своевременное получение информации о наличии инженерных коммуникаций предотвращает их повреждение и возникновение аварийных ситуаций.

В настоящее время, учитывая все более возрастающий спрос на неразрушающие методы контроля состояния объектов в различных секторах экономики, специалисты НТК проводят разработку следующей аппаратуры:

- георадиолокационный комплекс железнодорожного базирования – для контроля состояния железнодорожного земляного полотна, выявления дефектов и мониторинга технического состояния;
- радиоволновый искатель кабельных линий – для поиска и обнаружения кабельных линий и трубопроводов;
- переносной геолокатор – для обнаружения и неразрушающего контроля инженерных объектов на глубине до 1 м.

Потенциальными потребителями данной продукции являются центры диагностики железных дорог РФ, предприятия жилищно-коммунального комплекса, дорожные и строительные организации.

В соответствии с Протоколом рабочей группы Правительства Санкт-Петербурга аппаратура и технологии неразрушающего контроля с использованием метода СШП РЛ зондирования включены в Перечень инновационной продукции предприятий РЭК для нужд городского хозяйства, а ОАО «Радиоавионика» внесено в Реестр инновационных организаций Санкт-Петербурга. Продукция предприятия внесена в Региональную Программу инновационной продукции РЭК для нужд городского хозяйства.

На предприятии создан «Центр комплексного инструментального контроля технического состояния объектов», укомплектованный высококвалифицированными специалистами и комплексом средств неразрушающего контроля.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОИСКА ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ НА УЧЕБНОМ ПОЛИГОНЕ



Л.Ю. АСТАНИН

*д.т.н., профессор, главный
научный консультант
ОАО «Радиоавионики»*



В.А. НИКОЛАЕВ

*Директор НТК СГЛ,
главный конструктор*

Настоящая работа является частью методики сертификации операторов-саперов. Рассмотрены задачи и особенности поиска взрывоопасных предметов на учебном полигоне с использованием миноискателя ИВП-РЛ1. Проведена классификация событий поиска для задач различной сложности по виду объектов и по возможности их распознавания. Предложен метод декомпозиции диаграмм Венна для репрезентативного представления событий поиска при различных прикладных задачах и фоноцелевой обстановке. Определена структура комплекта документов для оценки эффективности поиска и результатов обучения. Подчёркивается роль обратной связи между результатами поиска на учебном полигоне и возможностями совершенствования аппаратуры, методик поиска, обучения и подготовки штата инструкторов. Определены возможные виды критериев при сертификации обучаемых.

1. Задачи и особенности поиска ВОП, роль учебного полигона

Современные средства инженерной разведки обладают возможностями селекции и даже распознавания элементов фоноцелевой обстановки, что с одной стороны снижает нагрузку на сапера, но с другой стороны повышает требования к его подготовке по правильному применению новой техники. В этом случае при подготовке операторов список критериев эффективности стохастического процесса поиска мин и ВОП необходимо расширить критериями качества обучения. Выбор числа и вида критериев, в принципе, является субъективным решением, которое производится в соответствии с фоноцелевой обстановкой, поисковыми возможностями

используемого прибора и оцениваемыми предусмотренными навыками оператора.

Использование учебного полигона отличается заранее известным расположением объектов поиска и свойств вмещающих сред (грунтов), что позволяет существенно снизить трудоемкость сопоставления этих данных с результатами поиска, обеспечивает определение количественных показателей качества поиска и оценку их изменения в зависимости от условий поиска, типа объектов поиска, информативных свойств поискового прибора и совершенствования навыков оператора в процессе обучения.

Фоноцелевая обстановка различается в соответствии с обычно принятым делением площадок (полос) полигона на учебные и штатные. На учебных площадках используется по возможности «чистый», однородный грунт и устанавливаются мины одного, максимум двух типов. Облегчённые условия поиска на учебных площадках способствуют привитию обучаемым уверенности в правильности своих действий, что является важной составляющей психологической подготовки оператора-сапёра.

На штатных площадках используется грунт, близкий к реальному, в условиях возможности использования конкретных технических средств, например, радиолокационного зондирования, и размещаются мины различных типов, образцы ВОП, тела-помехи различного размера и конфигурации. Особые условия поиска могут создаваться на специальных экспериментальных площадках или объектах для радиолокационного зондирования стен, подвалов, укрытий и др.

Основная задача поиска на учебных и штатных площадках (как и в реальных условиях) состоит в обнаружении установленных мин и ВОП, поскольку необнаружение (пропуск) цели представляет катастрофическую ситуацию.

2. Поисковые возможности прибора поиска взрывоопасных предметов ИВП-РЛ1

При использовании прибора поиска ВОП ИВП-РЛ1 в штатном режиме обнаружение осуществляется автоматически. Сигнал «Объект» (звуковой и/или световой) вырабатывается прибором на основании сравнения результатов обработки отражения от зондируемого объекта с некоторыми образцами, которые формируются на основании известных в определённых условиях отражений от мин и ВОП зондирующих радиолокационных сигналов с учётом назначенных порогов для отличия их от мешающих отражений поверхности, неоднородностей среды и др. При этом действует классическая модель обнаружения радиолокационного сигнала, требующая компромиссного выбора порога, увеличение которого приводит к увеличению вероятности пропуска цели, а уменьшение – к увеличению вероятности ложной тревоги.

Получаемые на учебном полигоне статистические данные позволяют судить о поисковых характеристиках прибора ИВП–РЛ1 для различных объектов и условий поиска и вырабатывать рекомендации по его совершенствованию.

В приборе ИВП–РЛ1 существует возможность обнаружения объекта поиска в ручном режиме путём анализа радарограмм отражённого сигнала на графическом индикаторе прибора. Такая операция требует наиболее высокого уровня квалификации оператора.

Один из способов снижения уровня ложных тревог и повышения эффективности поиска состоит в распознавании типа обнаруженного объекта (мины) с использованием возможностей поискового прибора и/или специальных действий оператора. Распознавание в реальных условиях служит средством разведки свойств минного препятствия. В условиях учебного полигона распознавание предоставляет данные для оценки эффективности используемых средств, алгоритмов обработки сигналов, методик поиска и разработки путей их совершенствования. Данные о результатах распознавания могут входить в число критериев при сертификации обучаемых операторов.

Распознавание представляет решение о выборе типа обнаруженного объекта из имеющегося списка типов (классов) объектов поиска. Различение объектов поиска осуществляется по некоторому принятому правилу распознавания, которое должно быть основано на наиболее важных признаках объектов. К ним относятся такие признаки, как размер, форма, материал (металл/диэлектрик) и др. В ряде случаев по совокупности признаков возможно распознавание конкретного вида объекта (мина типа X).

Задача распознавания в настоящее время не предполагает полной автоматизации и во многом основывается на приобретённых навыках оператора. В поисковом приборе ИВП–РЛ1 пока используется единственный алгоритм автоматического распознавания мин серии ПМН и селекции миноподобных объектов от тел-помех и неоднородностей грунта. Распознавание происходит без нарушения стандартного темпа поиска, что можно называть распознаванием в реальном масштабе времени. Обнаруженные объекты поиска других типов подлежат распознаванию в ручном режиме. При этом возможно использование, например, режима «Оконтуривание», сопровождающее автоматическое обнаружение в режиме «Поиск». Результат распознавания в этом режиме представляет оценку размеров и формы объекта поиска, что позволяет оператору принимать решение о принадлежности объекта к некоторому классу целей (большая, круглая и т.п.).

Вторая возможность распознавания в ручном режиме состоит в анализе информации на графическом индикаторе прибора ИВП–РЛ1 в режимах «Сканирование» и «Стоп-кадр». Это предполагает более высокие требова-

ния к уровню подготовки операторов и, соответственно, необходимость специальных программ их подготовки.

Оценка эффективности операций ручного распознавания в первую очередь должна исходить из временных затрат, неизбежно снижающих стандартный темп поиска.

Заметим, что при распознавании в случае несовпадения отклика объекта поиска с предусмотренным списком принимается решение о неизвестном объекте. Такое решение соответствует поиску ВОП в реальных условиях, когда другой тип решения: «не мина» имеет ответственный характер вследствие катастрофического характера возможной ошибки. В условиях учебного полигона возможна установка объектов «не мина» с известными характеристиками и задачей селекции или распознавания таких объектов.

3. Базы данных БРЦ и ДРП

В условиях учебного полигона расположение и типы объектов поиска на всех площадках априорно известны. Эти данные составляются при размещении объектов поиска и фиксируются в виде графического или цифрового документа, в том числе, возможно, в электронном виде, и называются базовым расположением целей (БРЦ). В состав документа БРЦ входят сведения о типах объектов и их 3D-координатах на полосе. Число типов объектов (включая свободные ячейки) составляет число переменных БРЦ. Содержание БРЦ может изменяться в зависимости от постановки задачи обучения и уровня подготовки группы. Отметим целесообразность расположения объектов поиска в перекрестьях координатной сетки, что облегчает выбор критерия ошибки установки минной указки при определении положения объекта в процессе поиска.

Результаты поиска представляются в виде документа, называемого демонстрацией результатов поиска (ДРП). Этот документ составляется по результатам расстановки оператором фишек (минных указок) в местах обнаружения объектов на каждой обследуемой полосе индивидуально для каждого обучающегося.

Число видов фишек определяется предполагаемыми возможностями поискового прибора и оператора к распознаванию типов объектов поиска. Решение о типе обнаруженного объекта принимается оператором на основании информационных сообщений прибора и/или собственных действий и выражается видом (окраской, кодом) устанавливаемой фишки. Число возможных решений n_s , влекущих установку фишки определённого вида, называется числом переменных базы ДРП. Оно изменяется для различных задач поиска и информационных свойств поискового прибора. Возможными решениями являются: мина определённого типа (класса), неопознанный объект. Решение об отсутствии объекта поиска никаких действий оператором

ра не вызывает. Особое место как отмечалось, занимает возможное решение «не мина». В условиях учебного полигона возможно принятие такого решения путём, например, анализа изображений на графическом индикаторе прибора. Будем относить это к действиям операторов-саперов высшей квалификации.

Результаты ДРП по каждому прохождению полосы или площадки каждым обучаемым накапливаются в базе данных полигона. Анализ этих данных в сопоставлении с данными базы БРЦ служит средством совершенствования используемой на полигоне фоноцелевой обстановки, методики обучения операторов и собственно методики поиска ВОП в реальных условиях. Результаты статистической обработки данных базы ДРП способствуют увеличению объективности выбора критериев и оценки уровня эффективности поиска и степени подготовки операторов для различных объектов и условий поиска. Данные БРЦ и ДРП однозначно представляют все возможные события поиска, т.е. являются репрезентативными в задаче оценки эффективности поиска.

Ясно, что результаты поиска – число фишек, их тип и места установки – не всегда совпадают с данными базовой системы БРЦ. Степень различия данных БРЦ и ДРП является основной мерой эффективности поиска. Результаты поиска вносятся в личную карточку оператора, представляющую индивидуальный отчётный документ, и сообщаются операторам после каждого прохождения полосы с последующим разбором и выявлением возможных источников ошибок. Такая обратная связь с обучаемым является традиционным средством повышения качества обучения. Усредненные за время обучения данные являются основой решения о сертификации обучаемого.

Кроме результатов ДРП важным критерием эффективности работы оператора является время выполнения задания. При этом представляет большой интерес дифференциальная скорость продвижения по полосе, позволяющая, в частности, выявлять затраты времени в сложных ситуациях, при ручном распознавании и др. Регистрация этих данных требует организации соответствующего наблюдения за действиями обучаемых на полосе. Расположение полос полигона на местности должно предусматривать возможность организации такого визуального или инструментального наблюдения. Например, видеосъёмка с фиксацией текущего времени может обеспечить необходимую информацию. Компромиссный вариант состоит в фиксации времени прохождения отдельных площадок или полос. Эти временные параметры также должны регистрироваться индивидуально для каждого обучаемого при каждом прохождении, вноситься в его индивидуальную карточку и накапливаться в базе данных, где они могут представляться в виде отдельного раздела документа. Статистический анализ временных параметров поиска также составляет основу для улучшения методики обучения и поиска.

Объём данных, составляющих основные документы учебного полигона: БРЦ и ДРП в самых простых ситуациях может достигать значительных величин. Для сравнения данных БРЦ и ДРП и получения усреднённых результатов целесообразна разработка и использование специальных алгоритмов управления базами данных учебного полигона. В основу таких алгоритмов целесообразно положить некоторые обобщённые критерии качества поиска. Ниже рассматриваются возможности выработки таких критериев для различных условий поиска.

4. Критерии эффективности при поиске однотипных объектов

Вначале рассмотрим как базовую простейшую задачу поиска на учебной полосе, на которой установлены M одинаковых объектов поиска. Будем предполагать условное деление учебной полосы на N ячеек с площадями, равными площади ячейки координатной сетки, используемой при установке объектов и регистрации результатов поиска. Это позволит рассматривать поиск на полосе как последовательность N независимых опытов радиолокационного зондирования, что определяет возможность статистического усреднения получаемых результатов. Будем считать, что полоса состоит из 10 участков, каждый с площадью равной площади 100 (10x10) ячеек координатной сетки, т.е. $N=1000$.

Поиск в простейшем случае состоит в обнаружении установленных объектов и осуществляется поисковым прибором (например, ИВП-РЛ1) в автоматическом режиме при надлежащих действиях оператора. Следует выделить две группы условий поиска:

- зондирование ячеек с установленными объектами поиска;
- зондирование свободных ячеек, в которые объект не устанавливался.

В первом случае возможны два альтернативных вида событий: прибор вырабатывает сигнал обнаружения или не вырабатывает, т.е. происходит пропуск цели. Во втором случае при отсутствии установленного объекта прибор может выработать ошибочный сигнал обнаружения. Это событие называется ложной тревогой. Альтернативное, правильное событие, когда сигнала обнаружения нет, будем называть правильным необнаружением. Отмеченное различие содержания событий поиска определяет необходимость использования различных критериев эффективности поиска при зондировании ячеек, содержащих объект поиска, и свободных. Напомним, что в условиях учебного полигона различие таких ячеек установлено содержанием базы данных БРЦ.

События поиска

Поскольку рассмотренные условия поиска определяются бинарными переменными: наличием или отсутствием объекта или сигнала обнаружения,

для наглядного представления событий поиска возможно использование известных в алгебре логики диаграмм Венна. На рис.1 показаны диаграммы Венна для задачи обнаружения объекта с использованием сигнала поискового прибора.

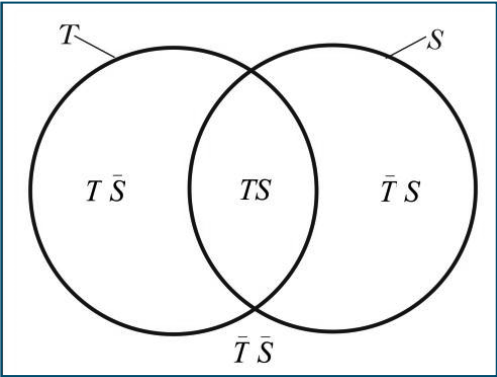


Рис.1. Диаграмма Венна для бинарных событий поиска

суммарное число переменных в составе БРЦ (число видов объектов n_T) и ДРП (число возможных решений n_S). Для однотипных объектов $T(n_T=1)$ и единственном виде решения S : есть объект ($n_S=1$) четыре возможных события представлены таблицей истинности (табл. 1), где значения аргументов 1 и 0 означают наличие или отсутствие цели и наличие или отсутствие сигнала обнаружения.

Таблица 1. Таблица истинности

№ п/п	T	S	Событие	Примечание
1.	0	0	Правильное необнаружение цели	Успешное решение задачи
2.	0	1	Ложная тревога	Ошибка
3.	1	0	Пропуск цели	Катастрофическая ошибка
4.	1	1	Правильное обнаружение цели	Успешное решение задачи

Заметим, что в самом общем случае возрастание вероятности ложной тревоги определяет снижение темпа поиска. Например, на полосе площадью в $N=1000$ ячеек вероятность ложной тревоги 10^{-2} определяет необходимость дополнительной установки 10 фишек, что при установленных 10 объектах поиска снижает темп поиска вдвое.

Диаграммам Венна можно придать количественный характер, если сопоставить площади сегментов диаграмм рис. 1 с вероятностями соответствующих событий поиска. При этом общая площадь прямоугольника на

рис. 1 должна быть равна единице, поскольку четыре представленных события представляют полную группу: другое невозможно. Однако вероятность наличия цели (внутренняя площадь контура T) в прикладных задачах выражается малой по сравнению с единицей величиной. Так, в задаче поиска мины на учебной полосе вероятность присутствия мины в одиночном опыте зондирования определяется отношением числа M установленных объектов (занятых ячеек) к общему числу ячеек полосы $N=1000$. Полагая число объектов, установленных на полосе, как и в практических условиях, порядка единиц штук: $M \approx 10$, получаем априорную вероятность наличия цели в опыте зондирования

$$p_M = \frac{M}{N} = 10^{-2}$$

что не может быть представлено графически в масштабе рис.1, если площадь рисунка равна единице.

Для возможности графического представления результатов поиска целесообразно придать диаграммам Венна смысл условной (апостериорной) вероятности. Рассмотрим эту возможность отдельно для выделенных выше задач обнаружения установленного объекта и зондирования свободной ячейки.

В задаче обнаружения следует принять наличие цели как состоявшееся событие. При этом площадь контура T , представляющая апостериорную вероятность наличия цели в опыте зондирования, полагается равной единице: $W_T=1$. Эта площадь складывается из двух сегментов, представляющих альтернативные события обнаружения и пропуска цели, что описывается булевой функцией дизъюнкции для достоверного события: Суммарная вероятность альтернативных событий также равна единице.

$$TS \cup T\bar{S} = T = 1$$

Отождествляя вероятности событий с площадью соответствующих сегментов на рис. 2, запишем:

$$W_{OB} + W_{PP} = W_T = 1, \quad (1)$$

где W_{OB} , W_{PP} – площади сегментов правильного обнаружения и пропуска цели.

При этом диаграмма Венна обеспечивает количественное описание вероятности событий поиска. Для результатов прохождения учебной полосы вероятность правильного обнаружения определяется отношением числа обнаруженных объектов M_0 к общему числу установленных M и представляется отношением площадей соответствующих сегментов:

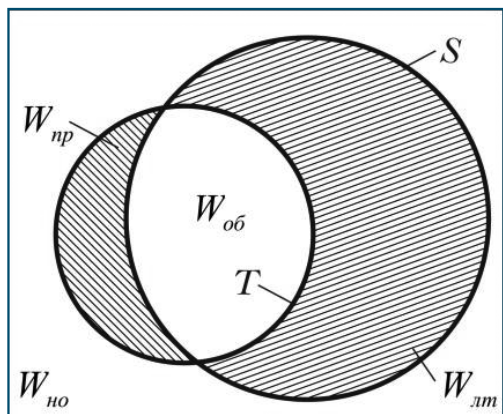


Рис.2. Вероятности событий поиска

$$P_0 = \frac{M_0}{M} = \frac{W_{об}}{W_{об} + W_{пр}} = W_{об} \quad (2)$$

Величина P_0 как критерий качества поиска оценивает надёжность обнаружения мины и по необходимости должна быть достаточно близкой к единице, поскольку альтернативная ситуация означает катастрофическую ошибку пропуска цели. При этом зона правильного обнаружения $W_{об}$ почти полностью перекрывает контур T , имеющий единичную

площадь (рис. 2), но качественная оценка вероятности правильного обнаружения по диаграммам Венна представляется возможной.

Вероятность пропуска цели $P_{пр} = \frac{M_{пр}}{M}$ вследствие соотношений (1),

(2) жёстко связана с величиной вероятности правильного обнаружения:

$$P_0 + P_{пр} = 1$$

Поэтому при анализе задачи обнаружения можно пользоваться единственным критерием. Чаще будем использовать вероятность правильного обнаружения P_0 .

Вторая из задач поиска состоит в зондировании ячейки, в которой не установлен объект поиска. Эта задача (рис.1) включает сегменты наличия сигнала обнаружения $\bar{T} \cdot S$ (ложной тревоги) и отсутствия сигнала $\bar{T} \cdot \bar{S}$, разделённые границей контура S и также представляющие альтернативные события.

Предполагая определение вероятности этих событий в апостериорном

$$\bar{T}S \cup \bar{T}\bar{S} = \bar{T}$$

смысле, т.е считая факт отсутствия цели в опыте зондирования достоверным, следует придать площади сегмента \bar{T} (внешность контура T) на рис. 2 единичное значение. Отождествляя вероятности событий с площадью сегментов ложной тревоги $W_{лт}$ и правильного неопределения $W_{но}$, запишем:

$$W_{лт} + W_{но} = 1 \quad (3)$$

Как и соотношение (1), эта жесткая связь вероятностей позволяет при анализе ограничиваться рассмотрением лишь одной величины. Будем использовать вероятность ложной тревоги.

Заметим, что контур сигнала обнаружения S на рис. 2 включает сегмент правильного обнаружения $W_{об}$ и сегмент ложной тревоги $W_{лт}$. Эти собы-

тия происходят в различных опытах зондирования и связаны с различными физическими причинами. Поэтому площадь контура S на рис. 2 не обязана быть равной единице.

Величина вероятности ложной тревоги $P_{ЛТ}$ определяется отношением числа ошибочных решений $A_{ЛТ}$ о наличии объекта в свободной ячейке к числу таких ячеек на полосе $A=N-M$:

$$P_{ЛТ} = \frac{A_{ЛТ}}{N - M} \quad (4)$$

На рис. 2 эта вероятность представлена площадью $W_{ЛТ}$ сегмента $S \cdot \bar{T}$. Поскольку число установленных мин $M \cong 10$ в условиях учебного полигона, как и в реальных условиях, много меньше числа обследуемых ячеек $N \cong 1000$, соотношение для оценки вероятности ложной тревоги (4) с достаточной для практики точностью можно представить как

$$P_{ЛТ} = \frac{A_{ЛТ}}{N} = \frac{W_{ЛТ}}{W_{ЛТ} + W_{НО}} = W_{ЛТ} \quad (5)$$

где $W_{НО}$ — площадь сегмента правильного необнаружения $\bar{T} \cdot \bar{S}$.

Результат проведенного анализа показывает, что в соответствии с приведенными соотношениями (1, 3) из четырёх событий поиска, представленных на диаграммах Венна и в таблице 1, независимое значение приобретают только два, в качестве которых выбраны P_0 и $P_{ЛТ}$. Эти события определяются различными физическими причинами и действиями оператора и поэтому характеризуются различными критериями (2) и (5), что определяет возможность их раздельного рассмотрения и раздельного использования для оценки эффективности процесса поиска. Будем называть такое разделение, полезное и для более сложных условий поиска, декомпозицией диаграмм Венна. При независимом рассмотрении критериев P_0 и $P_{ЛТ}$ целесообразно представление соответствующих данных на отдельных диаграммах прямоугольной формы.

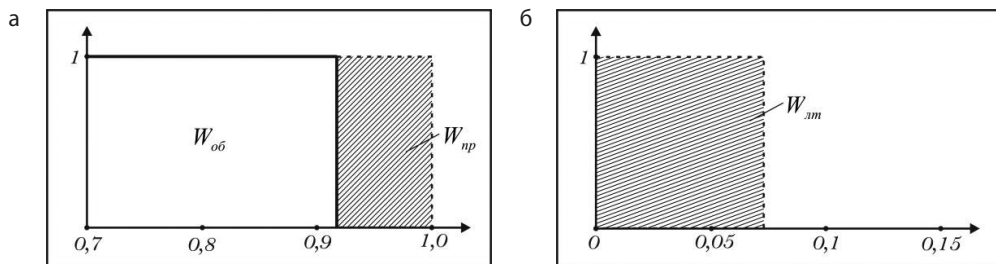


Рис.3. Показатели качества поиска

Поскольку практически значимые величины P_0 должны быть близки к единице, а значения ложной тревоги $P_{ЛТ} \ll 1$, диаграммы удобно строить, как на рис. 3, только для представляющих интерес интервалов на оси абсцисс: $P_0 \geq 0,8-0,9$, $P_{ЛТ} \leq 0,1-0,05$

Усреднение результатов поиска

Поскольку число M установленных на полосе ВОП невелико (около 10) и число ложных тревог в допустимых условиях поиска имеет такой же порядок, дискретность результатов P_0 и $P_{ЛТ}$ довольно грубая: около 10%. Поэтому при обработке данных базы ДРП целесообразно усреднение результатов.

Усреднённый показатель вероятности правильного обнаружения $P_{0\Sigma}$ для K опытов обнаружения определяется отношением суммарного числа обнаруженных объектов к суммарному числу объектов в опытах зондирования:

$$P_{0\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^K M_{0i}}{\sum_{i=1}^K M_i} \quad (6)$$

и, аналогично, средний показатель вероятности ложной тревоги согласно (5) равен

$$P_{ЛТ\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^K A_{ЛТi}}{\sum_{i=1}^K N_i} \quad (7)$$

Повторим, что данные для расчётов $P_{0\Sigma}$ и $P_{ЛТ\Sigma}$ при любых комбинациях опытов поиска имеются в базах БРЦ и ДРП учебного полигона. Для конкретной учебной полосы, когда число устанавливаемых объектов $M_i = M$ и размеры полосы: $N_i = N$ одинаковы во всех опытах, выражения (6) и (7) можно заменить усреднёнными суммами вероятностей в отдельных опытах:

$$P_{0\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^K M_{0i}}{K \cdot M} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{i=1}^K P_{0i} \quad (8)$$

$$P_{ЛТ\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^K A_{ЛТi}}{K \cdot N} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{i=1}^K P_{ЛТi} \quad (9)$$

Усреднение результатов поиска для одной или нескольких групп курсантов в одинаковых условиях является средством объективного определения

показателей эффективности поиска в этих условиях, что требуется для выработки критерия оценки уровня приобретённых операторами навыков.

В процессе обучения могут рассчитываться различные усреднённые значения показателей: по учебным и штатным полосам отдельно, общее итоговое усреднение для каждого обучаемого, для группы и для полигона в целом за некоторый отрезок времени и др.. Поскольку в условиях учебного полигона имеются данные БРЦ о типах установленных объектов, то всегда, вне зависимости от реализации задачи распознавания, имеется возможность получения усредненных результатов поиска по отдельным видам объектов. Такая статистика является средством улучшения как алгоритмов обнаружения и методик поиска отдельных видов ВОП в реальных условиях, так и процесса обучения. Сравнение полученных показателей на этапах обучения позволяет оценивать эффективность приобретения обучаемыми навыков поиска, которые обычно асимптотически возрастают при увеличении объёма проделанной практической работы. Анализ результатов может приводить к выводу о целесообразности изменения фоноцелевой обстановки и объёма работы на полосе. Например, достижение стажёром на штатной полосе, т.е. в усложнённых условиях, таких же показателей, как на учебной, можно рассматривать или как успешный результат обучения, или как недостаточную сложность фоноцелевой обстановки на штатной полосе.

Показатели для сертификации обучаемых

Усреднённые показатели поиска вносятся в итоговый сертификат обучаемого. Возможно дополнение этих данных традиционной оценкой по 4-х бальной шкале. Такая оценка, как обычно, выставляется с дополнительным учётом сторонних факторов: состояния полосы, сложности условий поиска, вплоть до погоды, а также факторов психологического свойства: дисциплинированности, трудолюбия обучаемого и др. Тем не менее, граничная величина показателей должна быть заранее установленной и известной обучаемым. Например, пропуск 50% объектов поиска неизбежно влечёт оценку 2 (неудовлетворительно), пропуск 1-го объекта при 4-х проходах может быть оценен на «отлично» и т.д. Установленные нормативы неизбежно должны изменяться в зависимости от сложности фоноцелевой обстановки, состояния полосы (свежеустановленные мины или стабильная поверхность и др.), уровня подготовки стажёров (первоначальное обучение или восстановление навыков) и в немалой степени от уровня опытности инструкторов.

5. Поиск при наличии объектов нескольких типов без их распознавания

В случае размещения на учебной полосе объектов поиска нескольких типов ($n_T > 1$) при отсутствии возможности их распознавания процедура поиска в

принципе не отличается от поиска объектов единственного типа. Число решений оператора (прибора) $n_s=1$ т.е. по-прежнему сводится к выбору «Есть объект / нет объекта». Показатель качества поиска при этом определяется вероятностью правильного обнаружения (2) как отношения числа обнаруженных объектов всех типов к общему числу объектов, установленных на полосе. Прикладной смысл такого результата подобен показателю средней температуры по больнице. Штучные экземпляры плохо обнаруживаемых мин мало повлияют на средний показатель (2), но придадут задаче поиска в реальных условиях экстремально опасный характер.

Вероятность ложной тревоги (5) в соответствии с её прикладным смыслом от типа и числа объектов поиска никогда не зависит.

В то же время, как отмечалось, в условиях учебного полигона вне зависимости от возможности распознавания при поиске база данных результатов поиска ДРП может быть сопоставлена с известным расположением объектов БРЦ индивидуально для каждого из типов установленных объектов. Получаемая при этом статистика полезна как средство оценки эффективности обнаружения объектов различных типов и как средство совершенствования соответствующих алгоритмов обнаружения, методик поиска и обучения. Рассмотрим особенности использования критериев эффективности в многоцелевой ситуации.

Два типа целей

Как уже отмечалось, число возможных событий в процессе поиска возрастает по экспоненциальному закону как 2^n , где $n=n_T+n_s$ — суммарное число возможных видов объектов поиска n_T и числа возможных решений оператора n_s .

Число видов объектов поиска n_T задаётся в исходных данных БРЦ (мины различных типов, образцы ВОП, посторонние предметы, искусственная неравномерность грунта и др.). Степенная зависимость 2^n ведет к быстрому росту числа видов событий. Например, уже при двух видах мин $T1$ и $T2$ без их распознавания ($n_s=1$) число видов событий равно 8 (табл. 2). При этом изображение соответствующих зон на общей диаграмме Венна в значительной мере утрачивает свойство наглядности.

Ситуация может быть улучшена при использовании предположения о несовместности двух типов объектов. В условиях учебного полигона не используется размещение двух объектов на площади одной ячейки координатной сетки. Если в случае необходимости такое размещение создано (например, на экспериментальном участке), то такая цель вносится в базу данных БРЦ как отдельный объект поиска T_x . Поэтому переменные $T1$ и $T2$, представляющие объекты разных типов, следует считать несовместными.

Таблица 2 – Таблица истинности

№ п/п	T1	T2	S	Событие
1.	0	0	0	Правильное необнаружение T1,T2
2.	0	0	1	Ложная тревога
3.	0	1	0	Пропуск цели T2
4.	0	1	1	Правильное обнаружение T2
5.	1	0	0	Пропуск цели T1
6.	1	0	1	Правильное обнаружение T1
	1	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXX
	1	1	1	XXXXXXXXXXXXXXXXXX

Это позволяет исключить из табл. 2 две последние строки ($T1=T2=1$). Тогда в таблице истинности остаётся только 6 возможных событий. Это показано на диаграммах Венна (рис. 4), где представлены возможные результаты поиска при условии, что области наличия двух объектов поиска не перекрываются: $T1 \cdot T2 = 0$.

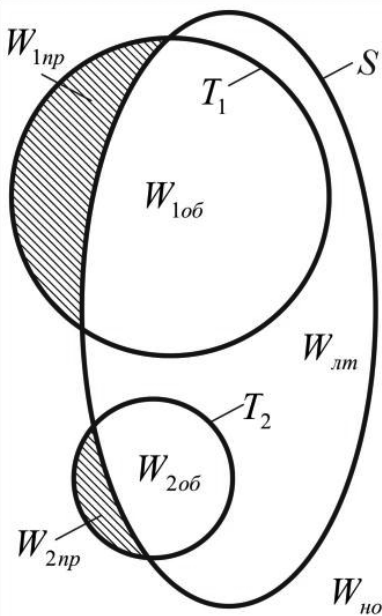


Рис. 4. Диаграммы Венна для двух разных объектов поиска

Применяя к диаграммам рис. 4 принцип апостериорной вероятности в условиях отсутствия операции распознавания, следует положить, что суммарная площадь контуров $T1$ и $T2$ равна единице:

$$W_1 + W_2 = 1 \quad (10)$$

Площади контуров W_1 и W_2 определяют условную вероятность участия в опыте зондирования объектов $T1$ или $T2$. Каждый из контуров $T1$ и $T2$ состоит из сегментов правильного обнаружения и пропуска цели. Обозначим их площади как $W_{1об}$, $W_{2об}$ и $W_{1пр}$, $W_{2пр}$.

Апостериорная вероятность обнаружения (предполагающая факт участия в опыте обнаружения объекта конкретного типа), определяется как отношение числа обнаруженных к числу установленных объектов этого типа:

$$P_{01} = \frac{M_{1об}}{M_1} = \frac{W_{1об}}{W_1} \quad \text{и} \quad P_{02} = \frac{M_{2об}}{M_2} = \frac{W_{2об}}{W_2} \quad (11)$$

Усреднение вероятности правильного обнаружения по типам объектов, как уже говорилось, имеет неопределённый прикладной смысл. В реальных условиях качество поиска должно определяться минимальной (наихудшей) вероятностью (11) для списка предполагаемых типов объектов поиска (мин).

Рис.4 иллюстрирует раздельное обнаружение объектов поиска $T1$ и $T2$ с собственными для каждого типа цели показателями правильного обнаружения P_{01} и P_{02} , что демонстрирует дополнительную возможность декомпозиции диаграммы Венна на раздельные диаграммы для вероятностей обнаружения целей разных видов $T1$ и $T2$ (рис.5 а, б) с использованием базы данных БРЦ.

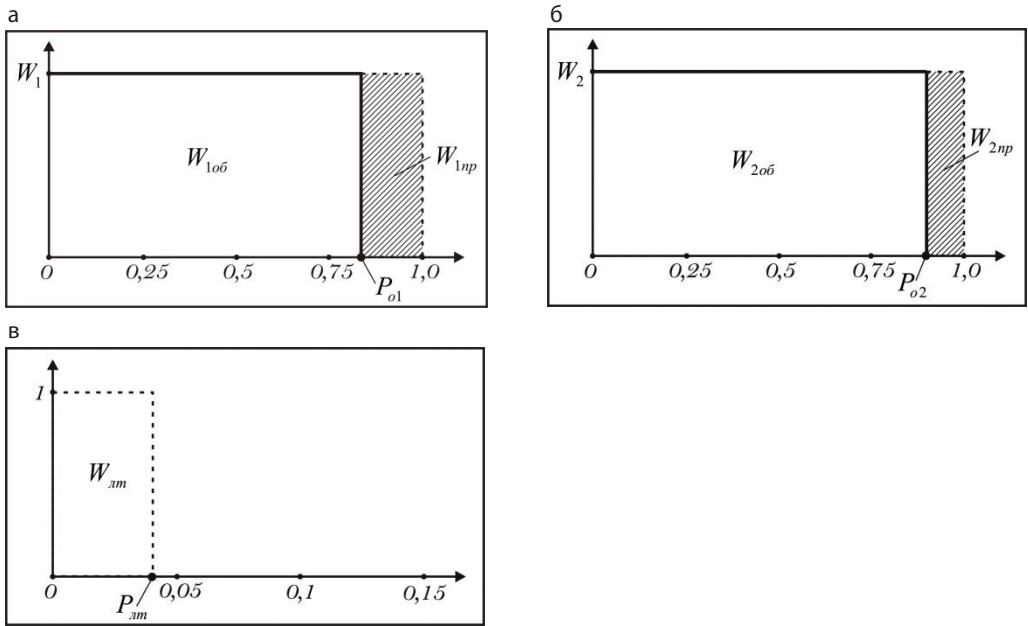


Рис. 5. Декомпозиция показателей качества для двух разных объектов поиска.

Вероятность ложной тревоги на рис. 4 представлена сегментом $S \cdot \bar{T}1 \cdot \bar{T}2$ с площадью $W_{лт}$. Этот сегмент составляет часть площади контура S , в который входят сегменты правильного обнаружения целей $T1$ и $T2$. Поскольку события обнаружения целей и зондирования свободной ячейки независимы, т.к. происходят в различных опытах зондирования, площадь контура S не обязана быть равной единице.

В то же время ложная тревога $S \cdot \bar{T}1 \cdot \bar{T}2$ является альтернативой к событию правильного необнаружения $\bar{S} \cdot \bar{T}1 \cdot \bar{T}2$, поэтому суммарная площадь этих сегментов равна единице:

$$W_{лт} + W_{HO} = 1 \quad (12)$$

Тогда вероятность ложной тревоги (5) задаётся величиной площади $W_{ЛТ}$:

$$P_{ЛТ} = W_{ЛТ} \quad (13)$$

Этот показатель представлен на отдельной диаграмме рис. 5в.

Таким образом, диаграмма Венна при двух видах объектов поиска представляется двумя диаграммами вероятности правильного обнаружения P_{oi} (по числу видов объектов) и общей диаграммой ложной тревоги $P_{ЛТ}$.

Увеличение числа типов объектов

Применение метода индукции обосновывает распространение принципа декомпозиции на произвольное число видов объектов. Покажем возникающие при этом особенности на примере трёх объектов. При этом возможно $2^n = 2^{(3+1)} = 16$ событий, представленных в табл. 3.

Таблица 3 – Таблица истинности

№	T1	T2	T3	S	Событие поиска
1	0	0	0	0	Правильное необнаружение $\bar{S} \cdot \bar{T1} \cdot \bar{T2} \cdot \bar{T3}$
2	0	0	0	1	Ложная тревога $\bar{S} \cdot \bar{T1} \cdot \bar{T2} \cdot \bar{T3}$
3	0	0	1	0	Пропуск цели T3
4	0	0	1	1	Правильное обнаружение T3
5	0	1	0	0	Пропуск цели T2
6	0	1	0	1	Правильное обнаружение T2
7	0	1	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
8	0	1	1	1	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
9	1	0	0	0	Пропуск цели T1
10	1	0	0	1	Правильное обнаружение T1
11	1	0	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
12	1	0	1	1	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
13	1	1	0	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
14	1	1	0	1	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
15	1	1	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
16	1	1	1	1	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Предположение о несовместности видов объектов позволяет исключить из этой таблицы строки 7, 8, 11-16. Оставшиеся 8 строк представляют собой три пары событий обнаружения в отношении трёх целей $T1$, $T2$, $T3$ и общее для учебной полосы событие ложной тревоги (или правильного необнаружения). В общем случае для K типов целей появится $K+1$ независимая составляющая диаграмм Венна.

Как и в случае двух целей, вероятность правильного обнаружения для каждого из K типов мин индивидуально определяется, как в (11), отноше-

нием числа обнаруженных мин M_{k0} к числу установленных M_k . Суммарная площадь контуров T_i на диаграммах Венна равна единице при любом числе типов целей. Внешняя часть всех контуров, представляющих наличие объектов различных типов, состоит из секторов альтернативных событий ложной тревоги и правильного необнаружения, является общей для результатов поиска на полосе и также имеет единичную площадь.

6. Критерии эффективности при поиске объектов с возможностью распознавания их типов.

Особенности декомпозиции диаграмм Венна при возможности распознавания объектов поиска

Будем предполагать возможность автоматического или ручного распознавания n_R видов (классов) объектов из числа представленных в базе данных БРЦ: $n_R \leq n_T$. Кроме того, необходим единственный сигнал обнаружения $S0$ для используемого поискового прибора. Тогда в число переменных n_S базы данных ДРП входит 1 решение об автоматическом обнаружении объекта и n_R решений о распознавании вида объекта: $n_S = n_R + 1$. Следовательно, общее число переменных $n = n_T + n_S = n_T + n_R + 1$ и число возможных событий при поиске с распознаванием составляет 2^n . Например, при трёх видах объектов и двух правилах распознавания это число составляет $2^6 = 64$ и прямое использование диаграмм Венна не представляется возможным. Как и в предыдущих разделах, рассмотрим возможность декомпозиции таких диаграмм, начиная с примера.

В случае использования поискового прибора ИВП-РЛ1 используются: алгоритм автоматического распознавания мин серии ПМН, объект и алгоритм автоматического обнаружения объектов других классов, которые объединим в класс $T2$. Возможность ручного распознавания вначале не рассматривается.

В этом случае существуют два решения о результате поиска: сигнал $S0$ об обнаружении неизвестного объекта и сигнал $S1$ об автоматическом распознавании мины ПМН. 16 возможных событий поиска представлены таблицей истинности (табл. 4). Используем, как и ранее, предположение о несовместности двух видов целей, справедливое в условиях учебного полигона. Это позволяет исключить из рассмотрения строки 13-16 таблицы 4, в которых $T1 = T2 = 1$.

В качестве отдельного факта заметим, что задача распознавания (как в автоматическом режиме, так и в ручном) не может быть решена без факта обнаружения объекта. Однако вследствие стохастического характера процесса поиска возможно возникновение ложного сигнала распознавания $S1$ в отсутствие сигнала обнаружения $S0$. В принципе ввиду очевидной ошибочности такая ситуация может быть блокирована аппаратным

путём. Будем считать событие $S1 \cdot \bar{S0}$ нереализуемым. Это дополнительно позволяет исключить из табл. 4 строки 3, 7, 11.

Таблица 4 – Таблица истинности

№	T1	T2	S1	S0	Событие поиска
1	0	0	0	0	Правильное необнаружение T1 и T2
2	0	0	0	1	Ложная тревога
3	0	0	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
4	0	0	1	1	Ложная тревога
5	0	1	0	0	Пропуск цели T2
6	0	1	0	1	Правильное обнаружение T2
7	0	1	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
8	0	1	1	1	Правильное обнаружение и неправильное распознавание T2
9	1	0	0	0	Пропуск цели T1
10	1	0	0	1	Обнаружение T1 без распознавания
11	1	0	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
12	1	0	1	1	Правильное обнаружение и распознавание T1
13	1	1	0	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
14	1	1	0	1	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
15	1	1	1	0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
16	1	1	1	1	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Оставшиеся 9 возможных видов событий поиска показаны на рис. 6, где наличие целей представлено контурами $T1$ и $T2$, суммарная площадь которых $W_1 + W_2 = 1$.

Два события пропуска целей $T1 \cdot \bar{S0}$ и $T2 \cdot \bar{S0}$ представлены в табл. 4 строками 9 и 5, а суммарная площадь $W_{1пр} + W_{2пр}$ соответствующих сегментов на рис. 6 представляет общую вероятность пропуска цели при поиске.

События правильного обнаружения целей $T1 \cdot S0$ и $T2 \cdot S0$ представлены сегментами $W_{1об}$ и $W_{2об}$ контуров $T1$ и $T2$, площади которых представляют слагаемые общей вероятности правильного обнаружения. Вследствие существования сигнала $S1$ распознавания цели $T1$ эти сегменты делятся на две части, соответствующие прямой и инверсной форме $S1$. Поскольку решение о распознавании возможно лишь при наличии обнаружения, контур сигнала распознавания $S1$ целиком лежит внутри контура сигнала обнаружения $S0$. Возможные при этом четыре вида событий представлены парами строк 6, 8 и 12, 10 в табл. 4.

При обнаружении цели $T1$ событие $T1 \cdot S1 \cdot S0$ является правильным распознаванием обнаруженной цели $T1$ и представлено строкой 12 в табл. 4. Величина отношения площадей сегментов правильного распознавания $W_{РАСП1}$ и правильного обнаружения W_{IOB} на рис. 7 может быть принята за вероятность правильного распознавания, или за критерий качества используемого алгоритма распознавания объекта $T1$:

$$P_{РАСП} = \frac{W_{РАСП1}}{W_{IOB}} \quad (14)$$

Поскольку контур $W_{РАСП1}$ заключён внутри контура W_{IOB} , то $P_{РАСП} \leq 1$. Оставшаяся часть контура обнаружения $W_{IOB} - W_{РАСП1}$ представляет вероятность правильного обнаружения объекта $T1$ без решения $S1$ о распознавании (строка 10 в табл. 4).

Событие обнаружения цели $T2$ на рис. 6 представлено сегментом $T2 \cdot S0$ с площадью W_{2OB} , которая равна вероятности правильного обнаружения цели. В состав сегмента входят два различных события: обнаружение $T2$ при правильном значении (отсутствии) сигнала распознавания $T2 \cdot S0 \cdot \bar{S1}$ и обнаружение $T2$ при ошибочном сигнале распознавания $T2 \cdot S0 \cdot S1$. Эти события представлены строками 6 и 8 табл. 4.

Площадь сегмента ошибочного распознавания второго объекта программой распознавания первого $W_{ОШ12}$ занимает часть площади правильного обнаружения цели $T2$, но не уменьшает вероятности обнаружения $T2$, которая определяется полной площадью сегмента W_{2OB} . Вероятность ошибочного распознавания объекта $T2$ программой распознавания $T1$ определяется отношением числа таких ошибок к числу обнаружений объекта $T2$:

$$P_{ОШ12} = \frac{W_{ОШ12}}{W_{2OB}} \quad (15)$$

Информационный смысл события ошибки распознавания состоит в оценке свойств алгоритма распознавания объекта $T1$ в отношении объектов класса $T2$. Правила использования данных об ошибках распознавания $W_{ОШ12}$ зависят от решаемой прикладной задачи: поиска в реальных условиях, или поиска на учебном полигоне при обучении операторов, или при разработке и совершенствовании алгоритмов распознавания.

Оставшиеся виды событий поиска представляют ситуацию, когда отсутствуют объекты поиска (строки 1, 2, 4. табл. 4). Тогда наличие сигнала обнаружения $\bar{T1} \cdot \bar{T2} \cdot S0$ представляет событие ложной тревоги (сегмент с площадью $W_{ЛТ}$ на рис. 6). Частью этого сегмента является событие появления обоих сигналов $\bar{T1} \cdot \bar{T2} \cdot S1 \cdot S0$ (строка 4 в табл. 4). Вследствие стохастического

характера возникновения ложной тревоги при зондировании свободной ячейки выделение этого события как отдельного можно считать нецелесообразным, а строки 2, 4 в табл. 4 объединить и считать вероятностью ложной тревоги площадь сегмента $W_{ЛТ}$.

Событие отсутствия сигналов прибора и объектов обнаружения представлено строкой 1 в табл. 4 и сегментом с площадью $W_{НО}$, равной вероятности правильного необнаружения. Как уже говорилось, сумма апостериорных вероятностей ложной тревоги и правильного необнаружения, равна вероятности достоверного события:

$$W_{ЛТ} + W_{НО} = 1$$

Таким образом, в рассмотренном применении поискового прибора ИВП–РЛ1 использование метода декомпозиции также позволяет представить результаты поиска в виде отдельных данных относительно вероятностей правильного обнаружения различных объектов, подобно диаграммам рис. 5а, б. В условиях возможности распознавания, например, объекта $T1$ вероятность (14) правильного распознавания $W_{РАСП}$ удобно отмечать на диаграмме вероятности правильного обнаружения $W_{ЮБ}$ этого объекта. Величины вероятностей правильного обнаружения объекта $T2$ и ложной тревоги, как и ранее, являются общими для всего проведённого поиска.

Отметим, что правильное и ошибочное распознавание оцениваемым алгоритмом происходят при зондировании различных объектов, следовательно, не являются альтернативными событиями, поэтому сумма вероятностей $W_{РАСП1}$ и $W_{ОШ12}$ не равна единице. Следовательно, для оценки качества алгоритма распознавания следует использовать также критерий вероятности ошибочного распознавания $W_{ОШ12}$, величину которого целесообразно представить как отдельную диаграмму подобно рис. 5.

Заключение

Рассмотренный метод декомпозиции диаграмм Венна обладает свойством репрезентативности, поскольку учитываются все возможные виды событий поиска. Этим метод отличается, например, от известного использования диаграмм Венна для представления событий распознавания объектов «мина/не мина», в котором отсутствует представление ряда событий: обнаружения без распознавания, событий ложной тревоги, классификации по видам объектов поиска, что затрудняет придание диаграммам количественного характера, необходимого для оценки параметров эффективности и, кроме того, создаёт неоднозначность в трактовке содержания событий поиска.

Проведенный выше анализ показывает, что введение операции распознавания не препятствует возможности применения декомпозиции по видам событий поиска. Поэтому увеличение числа видов объектов поиска и числа алгоритмов распознавания (например, в приборе ИВП–РЛ1 путём исполь-

зования ручного режима распознавания «Оконтуривание» и др.) не усложняет систему критериев оценки эффективности поиска и оценки навыков операторов в процессе обучения, основанную на принципе декомпозиции, и не ведёт к потере репрезентативности.

Использование нескольких алгоритмов распознавания ведёт к выделению в событиях правильного обнаружения дополнительных сегментов, представляющих вероятности правильного распознавания. Неизбежная возможность ошибочных решений алгоритмов распознавания приводит к появлению событий, когда алгоритмы распознавания принимают объект $T1$ за $T2$ и наоборот. Эти ошибки являются показателями качества конкретного алгоритма распознавания в отношении конкретной цели.

В качестве итога проведенного анализа повторим, что события поиска полностью представляются отдельными данными о вероятностях обнаружения по числу типов объектов, общей вероятностью ложной тревоги, вероятностями правильного распознавания по числу используемых алгоритмов и вероятностями ошибочных распознаваний. Только последний из названных показателей приобретает усложнённую форму при увеличении типов объектов поиска. В таком случае каждый алгоритм распознавания должен характеризоваться вероятностями ошибочного распознавания в отношении всех типов объектов (кроме «собственного»).

Анализ результатов распознавания представляет основу для совершенствования алгоритмов и для выявления степени близости признаков распознавания объектов различных видов, что может использоваться для объединения их в классы целей.

Как отмечалось, операция распознавания не изменяет вероятности обнаружения объекта поиска. Наиболее полезным свойством операции распознавания, по-видимому, является уменьшение вредных последствий ложной тревоги. Выяснение оптимального соотношения между затратами времени на обработку ложных целей и на их распознавание в общем виде весьма затруднительно и предполагает проведение поисковых работ в конкретных практических условиях. Моделирование таких условий возможно в условиях учебного полигона.

Примерный список документов и форм учёта центра регистрации учебного полигона

Материал настоящего раздела основан на том, что база данных расположения целей БРЦ на площадках полигона и база данных результатов проведенных поисковых работ ДРП являются основными и полностью репрезентативными документами. В то же время разнообразие условий поиска и решаемых задач требуют классификации данных БРЦ и ДРП по критериям, соответствующим решаемым прикладным задачам. Проведенный анализ показал,

что возможное многообразие событий поиска допускает декомпозицию путём разделения на события в отношении отдельных видов (классов) задач и объектов поиска. Таким образом, данные БРЦ и ДРП могут использоваться для выработки критериев качества поиска в разнообразных условиях поиска. Эти критерии представляются в виде различных форм: графических, цифровых файлов и др., предусмотренных формами учёта центра регистрации данных полигона. Основными критериями качества поиска на основании изложенного являются:

1. Вероятность правильного обнаружения для различных целей, условий и др.
2. Вероятность ложной тревоги для различных участков и полос полигона.
3. Вероятности правильного и ошибочного распознавания объектов различными алгоритмами распознавания.
4. Временные характеристики процесса поиска, регистрируемые в соответствии с имеющимися организационными и техническими возможностями.

Все виды критериев при проведении поисковых работ подлежат усреднению по необходимым параметрам: индивидуально для обучаемого, для группы, для заданной фоноцелевой обстановки на полосе и др. Итоговые критерии полезны при совершенствовании аппаратных средств, методик поиска, аттестации обучаемых и оценке действий инструкторов.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ШУМОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА



Ю.В. ЯСТРЕБОВ

*к.т.н., начальник отдела
НТК СГЛ*

В статье рассматривается метод для удаления шумовых составляющих сверхширокополосного радиолокационного сигнала, основанный на использовании технологии вейвлет-анализа и обеспечивающий расширение динамического диапазона.

Радиолокационные системы подповерхностного зондирования (георадары) занимают все более значительное место в общей теории и практике радиолокации [1]. Наиболее широко в качестве зондирующих сигналов в них используются сверхширокополосные сигналы (СШП) импульсной формы, длительность которых составляет доли единиц – единицы наносекунд. Прием таких сигналов, как правило, осуществляется стробоскопическим приемником, имеющим сравнительно небольшой динамический диапазон $30 \div 38$ дБ.

Ограниченный динамический диапазон стробоскопического преобразования существенно снижает возможности георадаров и не позволяет их реализовать в полной мере при зондировании сред, характеризующихся значительным затуханием.

Динамический диапазон приемника с одной стороны характеризует его способность обнаруживать слабые входные сигналы, с другой – обрабатывать сигналы большого уровня без искажения и определяется выражением:

$$D[\text{дБ}] = 10 \cdot \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}$$

Одним из способов расширения динамического диапазона является уменьшение уровня шумов за счет когерентного накопления сигналов. Это обеспечивает повышение отношения сигнал–шум и позволяет эффективнее использовать приемник для выделения слабых сигналов на фоне шумов.

Выигрыш в отношении сигнал–шум определяется количеством реализаций сигнала N , используемых для накопления, и равен \sqrt{N} .

Однако использование процедуры накопления на этапе записи информации (формирования В-скана) приводит к увеличению времени формирования реализации принимаемого сигнала. Так, эксперименты, проведенные для комплектов аппаратуры производимой НПО «Трим», показывают, что

при накоплении, равном 10, время записи реализации (А- скана) состоящей из 512 отсчетов сигнала, увеличивается примерно в 2,5 раза.

Это неприемлемо, когда получение информации должно обеспечиваться при высоких скоростях перемещения подвижной единицы, на которой установлен георадар (вагон, автомобиль и др.), поскольку количество записанных реализаций сигнала на один метр дистанции существенно уменьшается и не соответствует предъявляемым требованиям.

В этом случае могут использоваться другие методы, обеспечивающие расширение динамического диапазона на этапе постобработки и предусматривающие, например, удаление высокочастотных составляющих из спектра сигнала. Однако для реализации этих методов, как правило, используют преобразование Фурье, что применительно к сверхширокополосным сигналам не всегда оправдано.

Альтернативой может служить метод очистки шумов, основанный на технологии вейвлет-анализа.

Основное отличие вейвлет-фильтрации от традиционных методов выделения полезных сигналов из помех и шумов заключается в том, что выбор параметров вейвлетного фильтра довольно слабо зависит от характеристик спектра анализируемого сигнала. Это позволяет избежать тех трудностей, которые обычно сопровождают выбор параметров частотно-передаточной функции традиционного фильтра, когда слишком узкое частотное окно приводит к искажению формы полезного сигнала и ухудшению разрешающей способности системы, а слишком широкое - к неэффективности процесса фильтрации из-за остатков большого уровня шумов в выходном сигнале.

Постановка задачи и краткое описание методики ее решения

Представим входной СШП сигнал в виде аддитивной смеси:

$$y(t) = x(t) + \sigma \cdot n(t)$$

где $x(t)$ – полезный сигнал, $n(t)$ – белый шум, σ – уровень шума.

Информация о шуме, как правило, содержится в высокочастотной области спектра сигнала, а полезная информация – в низкочастотной. Необходимо удалить шумовую составляющую, не исказив при этом полезный сигнал. При этом неизбежно возникают проблемы с выбором типа вейвлета для разложения СШП сигнала по базисным функциям, определением методики удаления шумовых составляющих и выбором порога. Для удаления шумов будем использовать быстрое вейвлет - преобразование (БВП).

Методика удаления шумов включает в себя следующие операции [2]. **Вейвлет-разложение** сигнала до уровня N . Значение уровня N определяется частотным спектром информационной части сигнала, которую

желательно оставлять в рядах аппроксимирующих коэффициентов и спектром шума, составляющие которого необходимо удалять. Тип и порядок вейвлета, который используется в качестве базисной функции для разложения, может существенно влиять на качество очистки сигнала от шума. В качестве базисных функций используем вейвлеты: Хаара, Биортоганальный, Симлета, Добеши и Коифлета, разлагаемые до пятого уровня.

Задание типа и уровня порога выбирается по известным априорным данным о характере шумов или по определенным критериям, основанным на оценке шумов во входном сигнале. Пороговые уровни очистки могут быть гибкими (в зависимости от номера уровня разложения) или жесткими (глобальными).

Восстановление (реконструкция) сигнала на основе коэффициентов аппроксимации и детализирующих (модифицированных) коэффициентов.

Проиллюстрируем возможность реализации данной методики применительно к сигналам, полученным при зондировании железнодорожного земляного полотна.

На рис. 1 приведены реализации сигналов до и после удаления шумовых составляющих. По оси ординат на графиках отложена амплитуда в вольтах, по оси абсцисс – номер точки реализации сигнала. На рис. 1а показана исходная реализация СШП сигнала с шумом. Ниже – реализации сигналов, для которых применена методика удаления шумов с использованием различных видов порога. Видно, что шумы достаточно хорошо удаляются при использовании минимаксного порога (рис. 1в). Хуже удаляются шумы при применении порога по Штейну (рис. 1б).

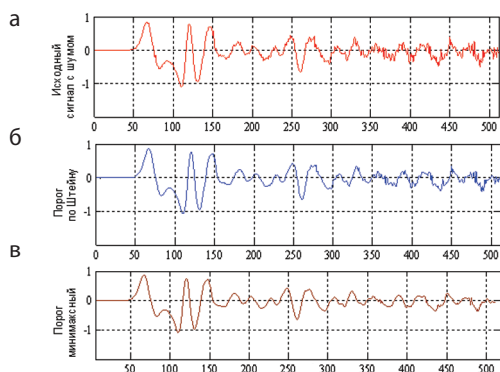


Рис. 1. Реализации сигналов до и после удаления шумов при использовании различных порогов

На рис.2 вверху приведена исходная реализация СШП сигнала с шумом, ниже – результат удаления шумов, в случае разложения сигнала по различным базисным функциям. Из рисунка видно, что предпочтение в выборе базисных функций следует в данном случае отдать вейвлетам Добеши и Коифлета. Это связано с тем, что более гладкие вейвлеты создают более гладкую аппроксимацию сигнала, и наоборот – «короткие» вейвлеты лучше отслеживают пики аппроксимируемой функции.

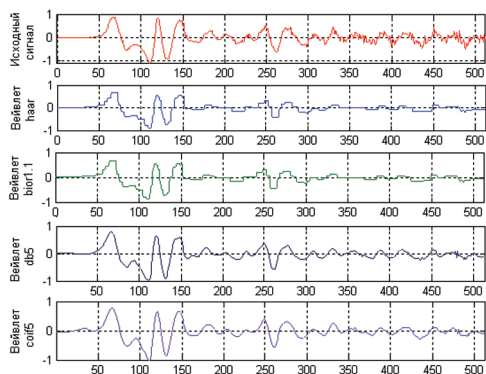


Рис. 2. Результат удаления шумов при разложении реализации сигнала по различным базисным функциям

постобработки, что не влияет на время получения (сбора) информации и расширяет возможности применения георадаров, размещаемых на подвижных единицах, движущихся с высокими скоростями.

Одним из критериев выбора типа вейвлета может служить его схожесть по форме с зондирующим СШП сигналом.

Таким образом, используя технологию вейвлет-анализа, можно эффективно решать задачу удаления шумов из принятой реализации СШП сигнала и тем самым обеспечить повышение отношения сигнал-шум и расширение динамического диапазона. При этом предложенный метод удаления шумов целесообразно использовать на начальном этапе

Литература:

- 1 Л.Ю. Астанин, А.А. Костылев. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. М.: – Радио и связь, 1989. – 192с.
- 2 Н.К. Смоленцев. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab. – М.: LVR Пресс, 2005. – 304с.

КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ДАЛЬНОЙ ЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ИХ ОСОБЕННОСТИ ПРИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОМ РАДИОЛОКАЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ



Ю.В. ЯСТРЕБОВ

к.т.н., начальник отдела
НТК СГЛ

Важными понятиями, используемыми в электродинамике, теории антенн, радиолокации и других областях радиотехники, являются понятия ближней и дальней зоны, которые имеют свои особенности в зависимости от решаемых задач. В статье проводится краткий анализ существующих критериев определения ближней и дальней зоны и уточнение их применительно к сверхширокополосным (СШП) сигналам.

Понятие ближней и дальней зоны является одним из основополагающих, широко используемых в различных областях радиотехники и применяемых при решении различного рода задач. Границы дальней зоны устанавливаются с учетом специфики и особенностей этих задач:

- для обеспечения экологической (электромагнитной) безопасности обслуживающего персонала и населения, а также окружающей среды от воздействия излучаемых электромагнитных полей – определяются размеры и конфигурация санитарно-защитной зоны;
- для обеспечения требований к качеству информации, получаемой от радиолокационных систем – определяется ухудшение точности, разрешающей способности и других тактико-технических характеристик (ТТХ);
- для удовлетворения требований при проектировании антенных систем – определяются расстояния до элементов экранирования и др.

Существующие критерии определения границы дальней зоны основаны на анализе характера изменения параметров электромагнитного поля в конкретной точке пространства от расстояния. Наиболее часто применяемый критерий определения границы дальней зоны основывается на предположении о том, что в некоторой точке пространства значения составляющих поля, пропорциональные первой и второй степени, совпадают. Выражение для границы дальней зоны имеет следующий вид:

$$R_{дз} \geq 1/k \geq \lambda/2\pi$$

Другой критерий основан на анализе изменений волнового импеданса. Его чаще всего используют при проектировании антенных систем, систем экранирования и защиты от электромагнитного излучения. Границей областей при использовании данного критерия считают расстояние, при котором волновое сопротивление становится постоянным и равным волновому сопротивлению вакуума $Z=377 \text{ Ом}$ (рис. 1).

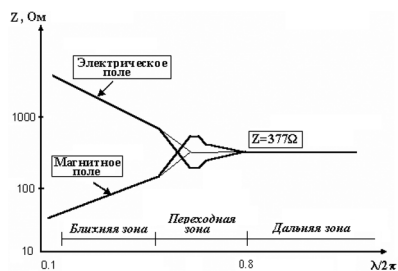


Рис. 1. Зависимость волнового сопротивления от длины волны

Граница дальней зоны для данного критерия определяется следующим соотношением:

$$R_{дз} \geq 0,8 \cdot \lambda / 2 \pi$$

Третий критерий наиболее часто применяется в радиолокации, где предъявляются высокие требования к ТТХ РЛС на относительно малых дальностях. Кроме того, критерий используют при определении требований к экологической безопасности радиотехнических объектов.

Для определения границы между ближним и дальним полем вводят допустимую ошибку δ , величина которой определяется требованиями обеспечения на относительно малых дальностях таких важнейших ТТХ радиолокационных систем, как разрешающая способность и точность измерения дальности и угловых координат.

Величина δ должна выбираться из допустимого фазового сдвига между крайними точками приема (элементами антенной системы) сигнала. При достаточно высоких требованиях к ТТХ, как правило, используют так называемый критерий Релея, при котором $\delta \approx 0,1$, а допустимый фазовый сдвиг составляет величину, равную $\lambda/16$.

В этом случае граница дальней зоны вычисляется по формуле:

$$R_{дз} = 2 \cdot L^2 / \lambda$$

где L — длина раскрыва антенны.

Традиционные радиотехнические системы используют гармонические сигналы и работают, как правило, на фиксированной частоте в сравнительно узкой полосе, не превышающей 10% несущей. Поэтому использование вышеперечисленных выражений для расчета границы дальней зоны не вызывает трудностей.

Одним из перспективных направлений развития радиолокационных систем является применение СШП сигналов. Разработка и внедрение сверх-

широкополосных систем и методов обработки СШП сигналов представляет собой качественный скачок в развитии радиолокации. Однако отказ от традиционного постулата радиотехники – узкополосных зондирующих сигналов – приводит к необходимости пересмотреть многие основополагающие концепции радиолокационной техники [1]. В том числе требуется уточнение понятий ближней и дальней зоны и критериев определения их границ.

Определение границы дальней зоны в этом случае с помощью вышеперечисленных критериев вызывает ряд трудностей, так как требует знания фиксированной длины волны (несущей частоты), а применительно к рассматриваемым СШП сигналам (сигналам без несущей частоты) оперируют понятием не несущей, а средней частоты спектра.

При зондировании природных сред характеристики СШП сигналов (в том числе частотные) могут существенно изменяться. В этом случае определение границы дальней зоны должно осуществляться с учетом электрофизических свойств самой среды и исходя из обеспечения требуемого качества информации при реализации методов обработки СШП сигналов.

Для определения границы между ближним и дальним полем будем перемещать антенную систему по прямолинейной трассе длиной L и осуществлять зондирование помещенного в среду малоразмерного объекта (размеры которого меньше или соизмеримы с длиной волны [2]).

Отраженные от малоразмерных объектов сигналы наблюдаются в виде гипербол, вид которых в основном определяется глубиной расположения объектов, диэлектрической проницаемостью среды и длиной трассы, по которой перемещаются антенные системы.

На рис. 2 в координатах «дистанция — глубина» приведены гиперболы, рассчитанные по сигналам, отраженным от малоразмерных объектов, находящихся на глубине 0.1, 0.2 и 0.3 м. Чем дальше находится объект от поверхности зондирования, тем менее выражена гипербола.

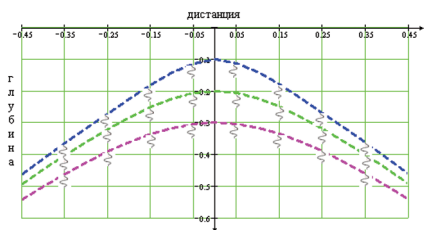


Рис. 2. Сигналы, отраженные от малоразмерных объектов

Введем величину δ , которая определяется минимальным временным сдвигом, при котором обеспечивается разрешение по дальности R (глубине) сигналов, принятых в центре и в конце трассы. В соответствии с критерием Рэлея, разрешающая способность определяется половиной длительности принимаемого сигнала τ_u . При этом выражения для пространственной протяженности сигнала в воздухе и в среде с диэлектрической

проницаемостью равной ϵ , имеют соответственно следующий вид:

$$\Delta\delta_s = c \cdot \tau_u / 2, \quad \Delta\delta_{cp} = \Delta\delta_s / \sqrt{\epsilon}$$

Границу дальней зоны (с учетом диэлектрической проницаемости среды) определим из следующего уравнения:

$$\sqrt{R + L^2/2} - R = \Delta\delta/\sqrt{\varepsilon}$$

Физически это сводится к тому, что расстояние по глубине между отраженными от локального объекта сигналами в центре и конце трассы зондирования равно пространственной протяженности сигнала в среде.

Решая приведенное уравнение относительно R , получим следующее выражение для вычисления границы дальней зоны:

$$R_{дз} \geq \frac{L^2 \cdot \sqrt{\varepsilon}}{4 \cdot \Delta\delta_0}$$

Как видно, граница дальней зоны является функцией диэлектрической проницаемости среды и увеличивается при возрастании последней.

На рис. 3 приведены зависимости границы дальней зоны от диэлектрической проницаемости среды при различных значениях отношений квадрата длины трассы к пространственной протяженности сигнала.

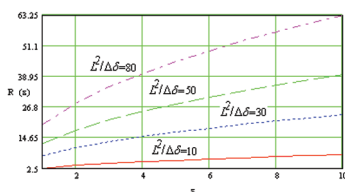


Рис.3. Зависимость границы дальней зоны от ε

Литература:

- 1 Л.Ю. Астанин., А.А. Костылев. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. - М.: Радио и связь, 1989.-192 с.
- 2 М.И. Финкельштейн, В.И. Карпухин, В.А. Кутев, В.Н. Метелкин. Подповерхностная радиолокация/Под ред. М.И.Финкельштейна. - М.: Радио и связь, 1994. - 216с.

ДИАГНОСТИКА БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ



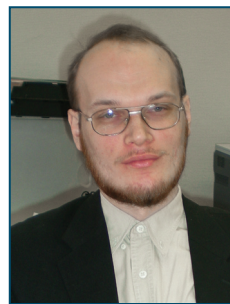
А.Б. СМИРНОВ

*к.т.н., ведущий научный
сотрудник НТК СГЛ*



В.В. КОСТЫЛЕВА

*Ведущий инженер
НТК СГЛ*



М.С. СИДОРЕНКО

*Научный сотрудник
НТК СГЛ*

Предложено решение задачи диагностики устройства и технического состояния балластного слоя железнодорожного полотна на основе исследования закономерностей формирования структуры фоновых и полезных сигналов при радиолокационном зондировании многослойной среды и определения параметров границ слоев на временном профиле путем преобразования радиолокационной информации специальным дифференциальным оператором с предварительным временным сглаживанием.

1. Общая характеристика задачи и способы ее решения

Основными целями диагностики балластного слоя являются определение положения нижней границы, оценка его состояния и обнаружение первичных признаков засоренности глинистыми продуктами, изменяющими дренажную способность гравия.

Исходная радиолокационная информация (РЛИ) зондирования СШП сигналом (временной профиль) содержит не только полезные сигналы, отражающиеся от поверхности зондирования и нижней границы балластного слоя, но и от нижней границы слоя шпальной решетки (СШР). Слой шпальной решетки представляет собой слоистую среду по трассе сканирования. Поэтому волновые процессы в слое шпальной решетки и в нижележащем балластном слое отличаются (особенно в области низких частот). Это и вызывает отражение зондирующего сигнала от нижней границы СШР.

1.1. Результаты численного моделирования.

Моделирование отражения СШП сигнала от СШР проведено при помощи метода конечных разностей (Finite Difference Time Domain). В качестве ре-

результата моделирования получен набор реализаций, которые вместе образуют В-скан такой же структуры, как и (наблюдаемый) в эксперименте. Введение более мелких деталей, таких как форма шпал, строго соответствующая ГОСТу, поглощение в грунте и в бетоне и т.д. позволяет приблизиться к реальным данным. На рис. 6 приведён пример В-скана, полученного в результате моделирования и демонстрирующего структуру отражений, качественно совпадающую с экспериментальной.

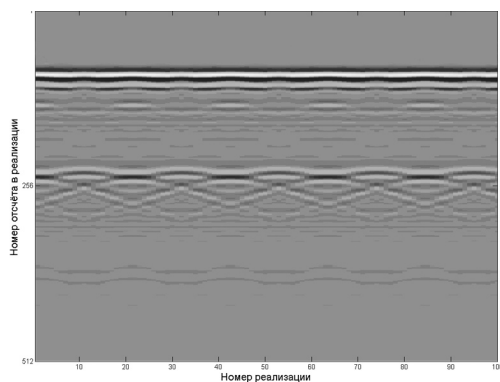


Рис. 1. В-скан, полученный в результате моделирования методом конечных разностей.

Результаты анализа В-скана (рис. 1) показывают периодическое изменение положения переднего фронта полезного сигнала (над 256-ой временной точкой), определяющего информацию о физически ровной нижней границе балластного слоя. Это свидетельствует об изменении волнового процесса распространения импульсной волны внутри слоя шпальной решетки и определяет особую роль нормальных (к поверхности зондирования) потоков электромагнитной мощно-

сти (излучающихся из диэлектрических волноводов слоистой среды) в формировании исходной радиолокационной информации.

1.2. Особенности экспериментальных данных.

Достижение основных целей диагностики может быть основано на анализе параметров полезных сигналов, определяющих три основные границы в структуре балластного слоя:

- поверхности зондирования ($g1$);
- нижней границы слоя шпальной решетки ($g2$);
- нижней границы балластного слоя ($g3$).

Изменение временного расстояния между $g1$ и $g2$ (электрической толщины СШР) на однородных участках без дополнительного поверхностного слоя позволяет по известной физической толщине шпал рассчитать диэлектрическую проницаемость СШР и по ее изменению обнаруживать участки с засоренностью СШР. Засоренность щебня ниже СШР изменяет уровень и структуру сигналов, отражающихся от нижней границы СШР и нижней границы всего балластного слоя, а также изменяет электрическую толщину слоя щебня под СШР. Поэтому параметры $g2$ и $g3$ могут быть

положены в основу способа обнаружения участков с засоренностью балластного слоя.

Так, например, на участках с изменяющейся толщиной засыпки шпал гравием изменение положения границ g_2 и g_3 на временном профиле должно быть зеркальным по отношению к g_1 , поэтому параметры g_1 можно использовать для корректировки реального положения границ структуры балластного слоя. Если известно временное положение границы g_1 , соответствующее лицевой поверхности шпал, то параметры g_2 на участках с дополнительным однородным поверхностным слоем могут служить для оценки диэлектрической проницаемости этого слоя.

2. Закономерности формирования структуры исходной РЛИ и ее преобразование

При практическом зондировании железнодорожного полотна приходится иметь дело с тремя слоями – воздушный промежуток между поверхностью зондирования и апертурой антенного блока, слой шпальной решетки и слой щебня под СШР. Биения сигналов в воздушном промежутке образуют паразитный фон при определении границы g_1 . Биения сигнала в СШР и в воздушном промежутке образуют паразитный фон при выделении границ g_2 и g_3 . Структуры паразитных фонов имеют периоды, определяемые электрической толщиной соответствующих слоев, их спектры имеют резонансный характер с резонансными частотами, обратно пропорциональными электрической толщине слоев. Так, например, при высоте расположения антенного блока 0,3 м резонансная частота воздушного промежутка приблизительно равна 0,5 ГГц, а слоя шпальной решетки при толщине 20 см и диэлектрической проницаемости 4 – 0,37 ГГц. Принципиально эффективным способом уменьшения уровня паразитных фонов резонансных структур является применение ФНЧ с граничной частотой ниже частоты резонанса.

Структура полезного сигнала при зондировании многослойной среды определяется не только основной частью зондирующего сигнала, отражающегося от соответствующей границы, но и его послеосцилляциями. Структура полезного сигнала (и РЛИ в целом) даже после сглаживания фильтрами имеет достаточно выраженный колебательный характер с плохим разрешением основных частей относительно паразитного фона.

Повышение контрастности основной части полезного сигнала можно дополнительно осуществлять специальными преобразованиями, учитывающими различия характеров составляющих биений в реальных слоях с затуханием, приводящих к последовательному увеличению низкочастотного характера составляющих так, что крутизна фронтов их последовательно уменьшается.

Для дальнейшего повышения контрастности основной части полезного сигнала РЛИ предлагается разностный оператор (FO) равный разности огибающих Гильберта исходного сигнала и его модуля:

$$FO(s(t)) = |H(s(t))| - |H(|s(t)|)| \quad (1)$$

где $s(t)$ – исходный сигнал, H – оператор преобразования Гильберта.

Комбинация функционального оператора FO и его модуля позволяет контрастно выделить признаки сигналов ($p(s(t))$):

$$p(s(t)) = (FO(s(t)) + |FO(s(t))|) / 2 \quad (2)$$

На рис. 2 приведен пример применения предлагаемых преобразований к модельному сигналу. Синим цветом на рисунке показан исходный модельный сигнал, красным – результат его преобразования функциональным оператором (1), черным – признаки составляющих модельного сигнала, полученные по формуле (2).

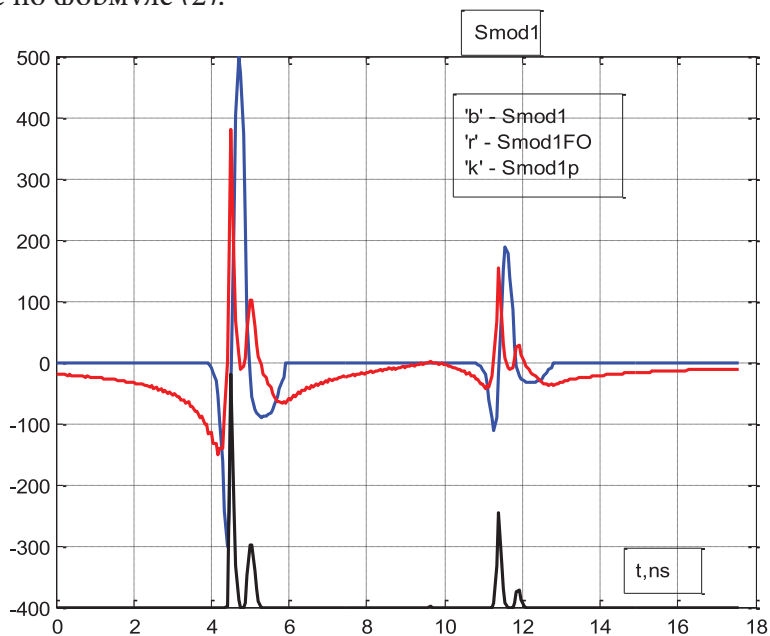


Рис.2. Пример преобразований модельного сигнала

Предлагаемое преобразование предоставляет математически разрешенные признаки основной части сигналов. Возможность абсолютного математического разрешения признаков особенно важна при разработке численных алгоритмов диагностики.

3. Тестирование предлагаемого преобразования

Тестирование проводилось на экспериментальных результатах, полученных при зондировании полномасштабного макета железнодорожного полотна

длиной 6 м, включающего рельсы, три деревянных и шесть стандартных бетонных шпал. Толщина балластного слоя от верхней поверхности шпал составляет 0,4 м.

Временное окно георадара 30 нс, высота расположения антенного блока 0,3 м для всех радиолокационных данных, приведенных ниже.

Результаты зондирования (без сигнала взаимодействия антенн) приведены на рис. 3 (левая половина рисунка).

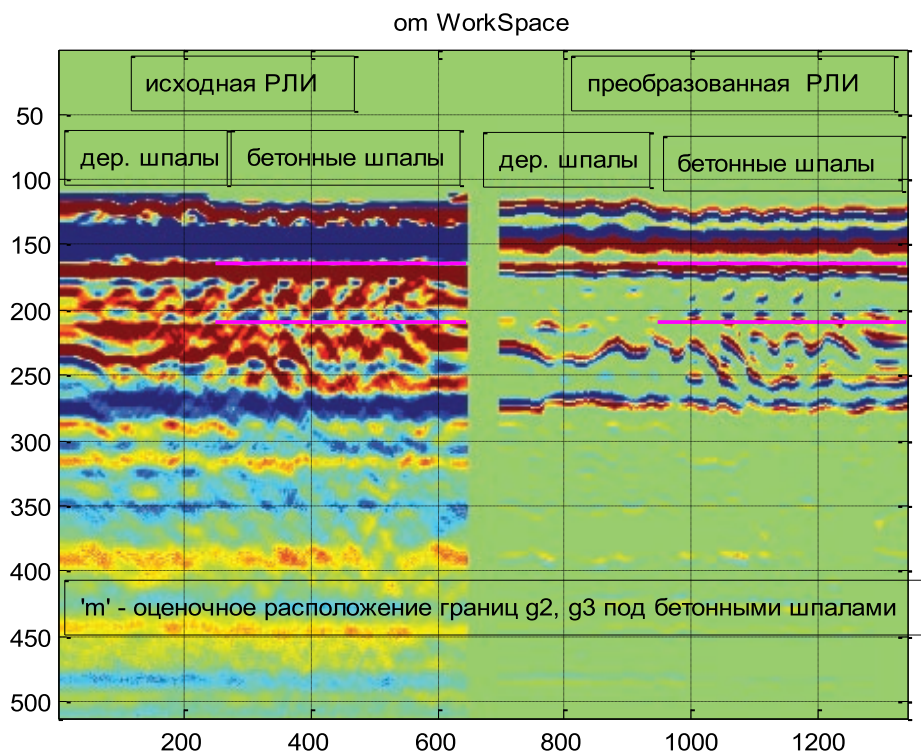


Рис.3. Результаты зондирования

На рис. 3 изображено оценочное положение границ g_2 и g_3 (малиновыми прямыми) на участках сканирования с бетонными шпалами. Передний фронт полезного сигнала Sg_3 , отражающегося от нижней границы балластного слоя g_3 , определен по экспериментальным результатам отражения зондирующего сигнала от экрана, специально размещенного в макете на уровне границы g_3 БС. По этим результатам электрическая толщина всего БС (от поверхности зондирования) равна 5.3 нс, что соответствует толщине слоя 40 см с диэлектрической проницаемостью, равной 4. Электрическая толщина слоя шпальной решетки 2.7 нс вычислена по его физической толщине (20 см) и стандартной величине диэлектрической проницаемости гравия 4.

В правой половине рис. 3 приведены признаки преобразованной информации. Признаки дополнительно умножены на знаковую функцию исходных сигналов (для визуальной контрастности структуры признаков). Для сохранения деталей структуры РЛИ применен математический оператор дифференцирования и фильтр НЧ с граничной частотой 0.6 ГГц для подавления помех, связанных с рассеянием на элементах крепления антенного блока. Сравнение исходной радиолокационной информации с преобразованной по (1,2) информацией рис. 3 позволяет убедиться в их информационной тождественности. Предлагаемое преобразование упрощает структуру фона и уменьшает его уровень, показывает изменчивость положения переднего фронта полезных сигналов Sg_2 (определяющего границу g_2 в районе 160-ой временной точки) и Sg_3 (ниже оценочного положения g_3), а также сложную структуру его после осцилляций.

4. Обнаружение участков засоренности балластного слоя по результатам зондирования реального полотна железной дороги

На рис. 4 приведены профили признаков РЛИ сканов зондирования железнодорожного полотна на участке Лигово – Ульянка s_5 длиной 125 м и s_9 длиной 100 м.

Исходная информация предварительно сглаживалась временным фильтром с граничной частотой 0.3 ГГц и пространственным фильтром в пределах одного периода шпальной решетки. На профилях рис. 4 присутствуют признаки как действительных границ g_3 , так и их зеркальных изображений (g_3z), в общих чертах подтверждающих характер временного положения g_3 .

Увеличение временного положения признаков действительной границы g_3 в правой половине профиля скана s_9 (подтверждаемое соответственным смещением ее зеркального изображения) свидетельствует об увеличении электрической толщины балластного слоя. При допущении ровности физической границы на всем протяжении скана это увеличение обусловлено увеличением диэлектрической проницаемости гравия, что может свидетельствовать о засоренности или увлажнении балластного слоя в правой части скана рис. 4. Оценка изменения относительной диэлектрической проницаемости по среднему временному смещению действительной границы дает величину 5 вместо стандартной для гравия величины 4.

5. Заключение

- 1) Предложены операторы (1,2), преобразующие РЛИ в профиль признаков с контрастными границами, соответствующими структуре зондируемого балластного слоя. Эффективность преобразования обеспечивается оптимальными параметрами временных фильтров низкой частоты (гра-

ничными частотами ниже частоты собственных колебаний соответствующих слоев).

- 2) Структура профиля признаков включает как действительные, так и зеркальные границы, параметры которых можно использовать для подтверждения обнаружения и результата вычисления временного положения действительных границ.
- 3) Операторы протестированы на результатах зондирования макета балластного слоя и проверены на натурных результатах зондирования.

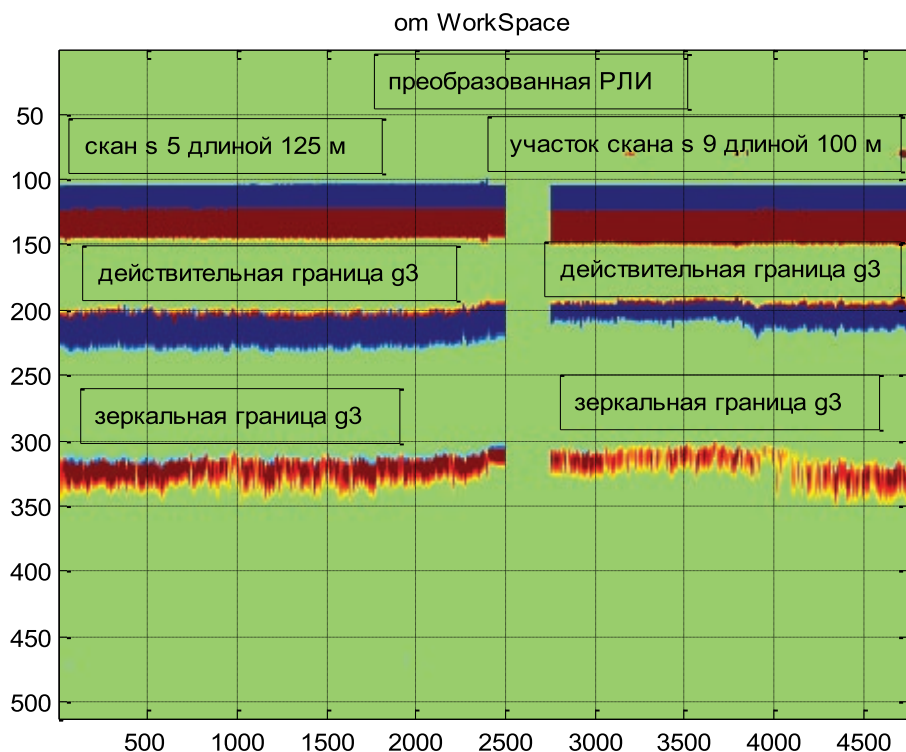


Рис.4. Профили признаков РЛИ сканов

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ МЕТОДОМ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ



С.М. ШАБУРОВ

*Заместитель директора
НТК СГЛ*



Ю.В. ЯСТРЕБОВ

*к.т.н., начальник
отдела НТК СГЛ*



В.В. КОСТЫЛЕВА

*Ведущий инженер
НТК СГЛ*

В статье представлены результаты и показана эффективность применения метода сверхширокополосного (СШП) радиолокационного (РЛ) зондирования для определения параметров и технического состояния конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог.

В соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие транспортной системы России (2010-2015 гг.)» внедрение новых высокопроизводительных технологий, обеспечивающих объективную оценку и мониторинг технического состояния конструктивных слоев дорожной одежды, относится к задачам первостепенной важности.

К сожалению, в настоящее время среди методов определения качества дорожного полотна по-прежнему основными остаются методы бурения (отбора кернов) и проведения испытаний с помощью приборов статического или динамического нагружения, которые обеспечивают лишь выборочный контроль и являются достаточно трудоемкими. Метод СШП РЛ зондирования, в отличие от традиционных методов, позволяет обследовать дорожное покрытие не «точечно», а непрерывно, не нарушая его целостности, и определять не только толщину конструктивных слоев дорожной одежды, но и выявлять зоны разуплотнений, повышенной влажности в подстилающих грунтах, находить другие дефекты в покрытии, а также обнаруживать и определять местоположение инженерных коммуникаций.

Использование технологий СШП РЛ зондирования позволит улучшить качество проектных, строительных и эксплуатационных работ, сократить

затраты и в то же время повысить надежность и увеличить межремонтные сроки эксплуатации и жизненный цикл дорожных конструкций.

На основе научно-технических разработок в области СШП РЛ зондирования создан базовый комплект СШП РЛ аппаратуры для неразрушающего контроля технического состояния конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог. Осуществляется разработка и совершенствование программного обеспечения для управления георадаром и обработки радиолокационных данных. В зависимости от решаемых задач, требуемой производительности и т.д. аппаратура георадара размещается на автомобиле или специально изготовленной транспортной тележке (рис.1, 2).



Рис. 1. Диагностическая лаборатория



Рис. 2. ГЕО-Д на тележке

Специалистами научно-технического центра комплексного инструментального контроля (НТЦ КИК) на этапе внедрения совместно со специалистами Комитета по благоустройству и дорожному хозяйству и ГУ «Центр комплексного благоустройства» и других дорожно-строительных организаций проведены экспериментальные исследования по зондированию дорожной одежды на автомагистралях города.

При проведении исследований на Дунайском проспекте целями радиолокационного обследования являлись оценка возможностей метода сверхширокополосной радиолокации и комплекта аппаратуры для неразрушающего контроля толщины слоя асфальтобетонного покрытия, изменения толщины щебеночного основания и песчаного подстилающего слоя, а также оценка достоверности (погрешности) результатов радиолокационного зондирования. Пример радиолокационного изображения, полученного при зондировании глубинным антенным блоком, приведен на рис. 3. По результатам обобщенного анализа выделены границы и построен инженерно-геологический разрез конструктивных слоев дорожной одежды (рис. 4). Установлено, что толщины конструктивных слоев дорожной одежды существенно изменяются по дистанции трассы и на некоторых ее участках отличаются от данных, приведенных в проектной документации. Погрешность результатов по сравнению с фактическими данными, полученными при отборе кернов, составляет 4% для асфальтобетонного

покрытия, 17% для щебеночного основания и 3.5% для песчаного подстилающего слоя.

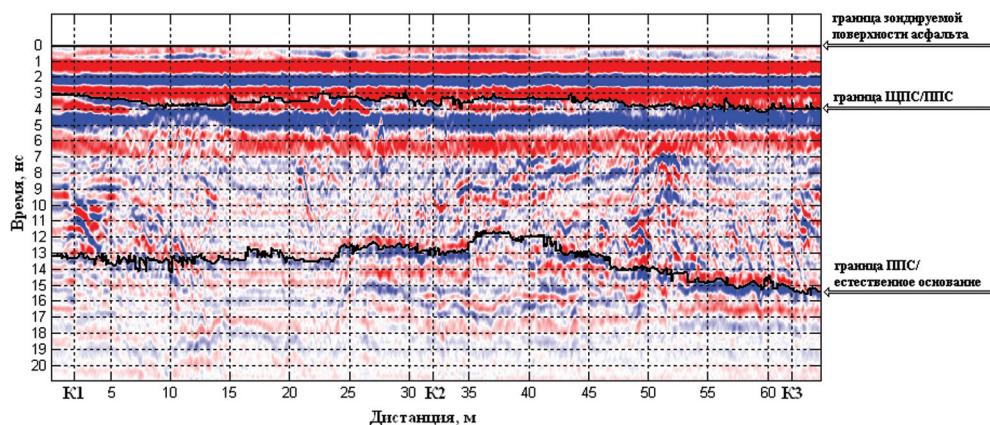


Рис. 3. Радиолокационное изображение по трассе сканирования

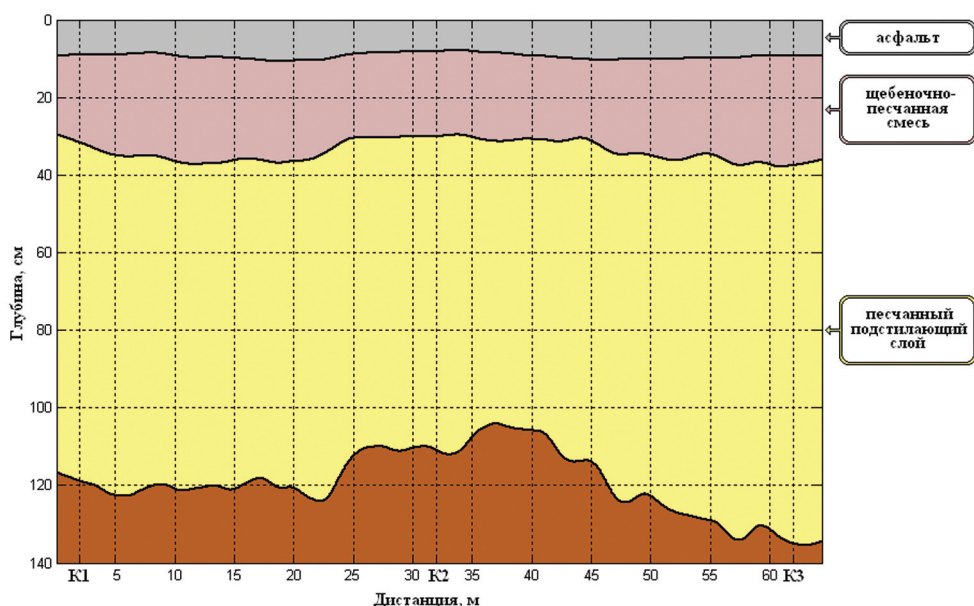


Рис. 4. Инженерно-геологический разрез по трассе сканирования

Выполненные исследования показали, что метод СШП радиолокационного зондирования является эффективным и целесообразным для применения при оперативном неразрушающем контроле конструктивных слоёв дорожной одежды при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. В настоящее время выполняются работы на договорной основе по заказу дорожно-строительных организаций города.

Целями радиолокационного обследования автомобильной дороги А121 являлись определение толщин (границ и их изменений) конструктивных слоев дорожной одежды на участках зондирования и локализация аномальных зон в конструктивных слоях дорожной одежды (неоднородностей, разуплотнений, обводнений, пустот и др.).

На рис. 5 приведено радиолокационное изображение по продольной трассе сканирования, где показаны две границы: сверху – нижняя граница асфальтобетона, внизу – нижняя граница щебеночного основания. В центре наблюдается аномальная зона, причем, начиная с глубины 0,35 – 0,40 см отраженные от нижней границы щебеночного основания сигналы имеют повышенную контрастность, что характерно для очень обводненного слоя.

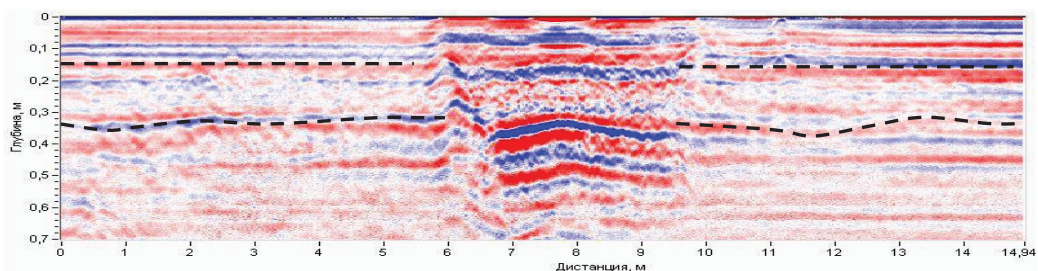


Рис. 5. Радиолокационное изображение по трассе с аномальной зоной

При радиолокационном зондировании проезжей части в поперечном направлении выявлены отличия в конструкции дорожной одежды (рис. 6). В средней части под слоем щебеночного основания (ниже 0,4 м) располагается слой грунта с нижней границей на глубине примерно 0,8 м. По краям проезжей части этот слой не определяется. Выявленные различия в конструкции дорожной одежды позволяют утверждать, что они являются причиной возникновения продольных трещин, наблюдаемых визуально на обследуемых участках.

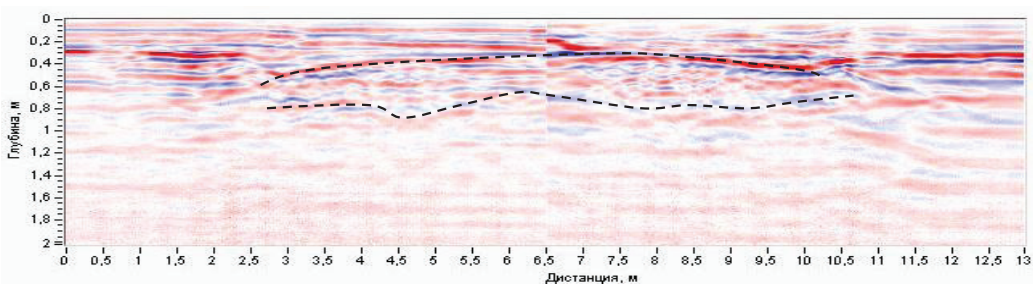


Рис. 6. Радиолокационное изображение поперечной трассы

На Синопской набережной целями радиолокационного обследования являлись определение и локализация аномальных зон в конструктивных

слоях дорожной одежды (неоднородностей, разуплотнений, обводнений, пустот и др.) и определение толщин конструктивных слоев дорожной одежды и их изменений в локализованных аномальных зонах.

На рис. 7 и рис. 8 приведены радиолокационные изображения, полученные высокочастотным и низкочастотным антенными блоками. По результатам анализа радиолокационных изображений построен инженерно-геологический разрез (рис. 9), на котором голубым цветом выделены аномальные зоны.

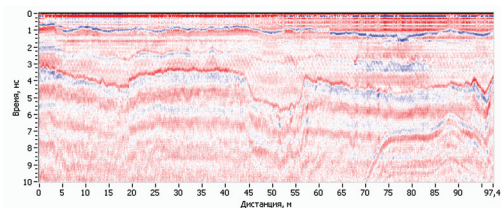


Рис. 7. Радиолокационное изображение (высокочастотный блок)

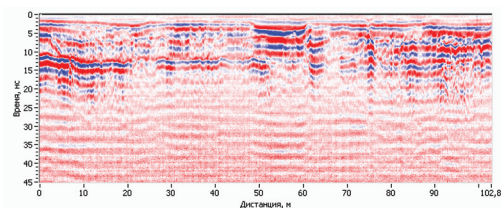


Рис. 8. Радиолокационное изображение (низкочастотный блок)

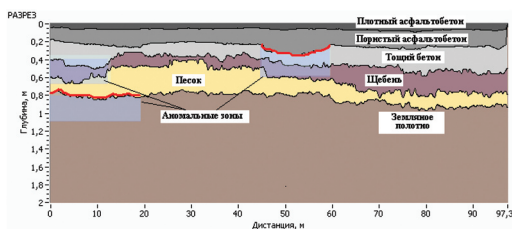


Рис. 9. Инженерно-геологический разрез

Результаты работ получили положительную оценку, и, по мнению специалистов, метод неразрушающего контроля дорожной одежды, безусловно, является перспективным. Назрело время для перехода к более широкому внедрению метода в повседневную практику дорож-

ного хозяйства, разработке необходимой нормативной и организационно-методической документации, регламентирующей применение средств СШП радиолокации, а также необходимого метрологического обеспечения.

На основе опыта проведения практических работ разработана «Методика определения технического состояния конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог методом СШП РЛ зондирования», которая утверждена профильными Комитетами Правительства Санкт-Петербурга и Администрации Новгородской области.

Литература:

1. А.М. Кулижников. Георадарные технологии в проектах автомобильных дорог // Дороги России XXI века. - № 4. – 2003. – С. 70-72.
2. А.М. Кулижников. Георадарное сканирование поперечных профилей дорожных конструкций // ДОРОГИ И МОСТЫ. Сборник ст. / ГП РОСДОРНИИ. М., 2005, вып. 14/2. – 2005. – С. 65-74.

КОМПЛЕКСНЫЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ



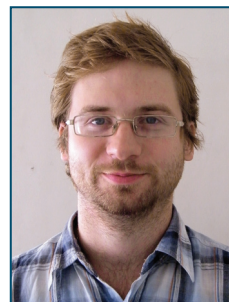
В.И. КУЛИКОВ

*Начальник лаборатории
НТК СГЛ*



В.В. КОСТЫЛЕВА

*Ведущий инженер
НТК СГЛ*



М.С. БАРИЛКО

Инженер НТК СГЛ

В статье представлены результаты и показана эффективность применения метода сверхширокополосного (СШП) радиолокационного (РЛ) зондирования при обследовании объектов культурного наследия.

Традиционные методы диагностики технического состояния объектов культурного наследия не в полной мере удовлетворяют важным условиям реставрационного дела, при которых необходимо обеспечивать сохранение целостности конструкций и исключение утраты исторически значимых элементов. Метод неразрушающего контроля с использованием СШП РЛ зондирования позволяет выполнить эти условия и находит все более широкое применение.

Получаемая информация о внутреннем устройстве обследуемых объектов позволяет принять квалифицированное решение по способам реставрации. Ценность получаемой информации обуславливается также тем, что значительную ее часть невозможно получить традиционными методами, а техническая документация на объекты реставрации зачастую отсутствует. При использовании СШП РЛ зондирования решаются задачи поиска, обнаружения и определения глубины залегания элементов крепления, инородных включений; локализация аномальных зон (разуплотнений, повышенной влажности, неоднородности материалов и т.д.).

Применение георадаров для обследования объектов культурного наследия — интересная и многогранная задача, требующая использования всего спектра его возможностей, поскольку реставраторов могут интересовать и сверхтонкие слои, например, толщина штукатурки или облицо-

вочных плит, и строение постаментов памятников толщиной несколько метров.

Приведенные ниже примеры иллюстрируют возможности метода радиолокационного зондирования и других неразрушающих методов инструментального обследования объектов культурного наследия.

Задача обследования мозаичного пола павильона Концертный зал в г. Пушкин заключалась в определении структуры перекрытий, обнаружения зон повышенной влажности и металлических креплений.

На плане мозаичного пола Главного зала (рис. 1) обозначены выявленные в ходе обследования аномальные зоны. Общая площадь аномальных зон составляет около 20% от площади зала, в основном они характеризуются повышенной влажностью или разуплотнением связующего материала.

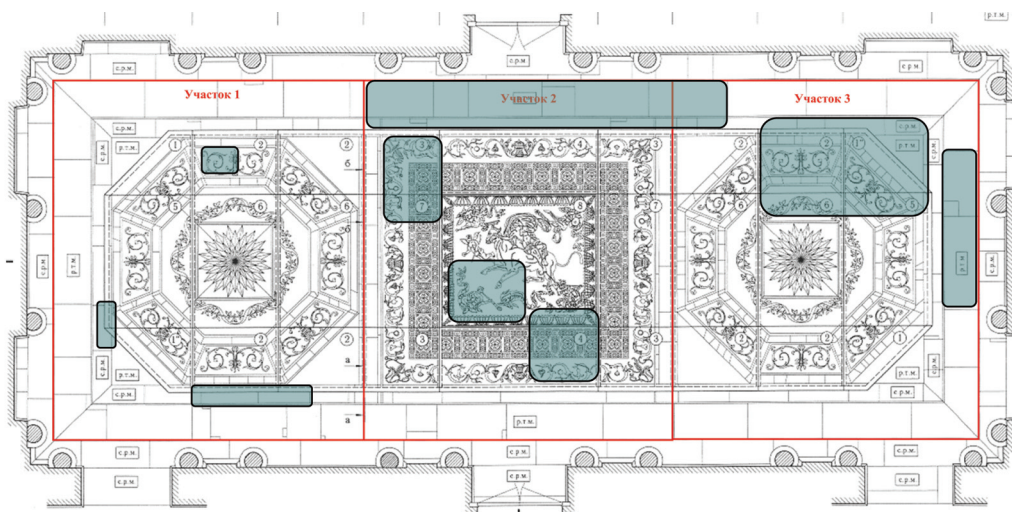


Рис.1. План расположения аномальных зон в Главном зале

На рис. 2. и рис. 3 представлены радиолокационное изображение по поперечной трассе сканирования и соответствующая структурная модель межэтажного перекрытия.

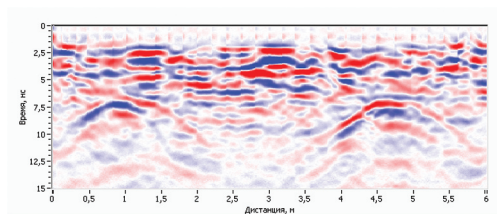


Рис.2. Радиолокационное изображение по поперечной трассе сканирования



Рис. 3. Структурная модель перекрытия

В результате обследования многоярусного пьедестала памятника Николаю I была оценена толщина каменных плит, установлены места разрушения связующего материала, участки повышенной влажности, выявлено наличие металлических элементов крепления каменных блоков, горельефов и скульптур. Были обнаружены два вертикальных металлических пилона, проходящих через весь пьедестал, которые служат для крепления конной статуи. На рис. 4 представлено радиолокационное изображение по трассе, проходящей в верхней части пьедестала. На рисунке на временной задержке около 10 нс наблюдается граница мраморной плиты, а ниже – отражение от пирона, находящегося на глубине около 1.3 м. На рис. 5 представлено радиолокационное изображение по трассе сканирования, проходящей над бронзовым горельефом, где хорошо видны гиперболы, соответствующие верхним креплениям горельефа.

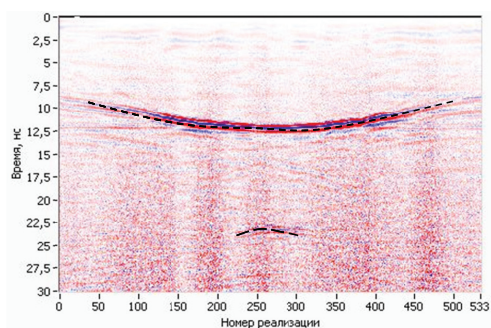


Рис. 4. Радиолокационное изображение по трассе в верхней части пьедестала

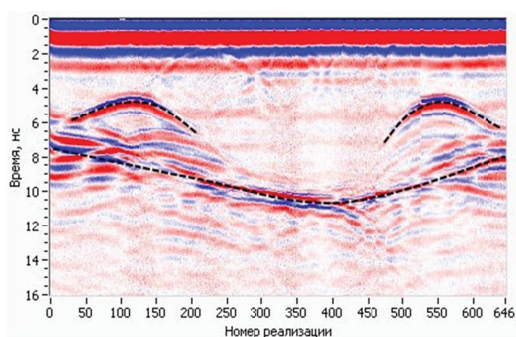


Рис. 5. Радиолокационное изображение по трассе над горельефом

Комплексирование метода СШП РЛ зондирования с другими методами неразрушающего контроля (ультразвуковая дефектоскопия, видеоэндоскопия и др.) позволяет получать более полную информацию об объекте обследования и повысить достоверность результатов обследования. Так при обследовании пьедестала памятника Николаю I использование видеоэндоскопа позволило определить степень коррозии элементов крепления горельефов и скульптур (рис. 6) и подтвердить на некоторых участках наличие разрушения связующего материала (рис. 7), установленное при радиолокационном обследовании.

При обследовании скульптур атлантов портика Нового Эрмитажа использовался комплекс методов и средств неразрушающего контроля: георадар, металлодетектор, видеоэндоскоп, ультразвуковой дефектоскоп. Целями обследования являлись определение конструкции верхних креплений скульптур атлантов, определение конструкции креплений скульптур атлантов к постаменту, определение конструкции нижних креплений постаментов к гранитным плитам стилобата портика.



Рис.6. Коррозия анкера



Рис.7. Разрушение связующего материала

В результате обследования были установлены размеры и положение вертикальных пиროнов в постаментах. Использование металлодетектора позволило определить, что пироны изготовлены из бронзы. Обследование верхних креплений атлантов со стороны балок, к которым крепятся скульптуры, проводилось с помощью СШП РЛ зондирования (рис.8), а со стороны головы скульптур использовался видеоэндоскоп (рис.9). Таким образом, удалось определить устройство верхних креплений и наличие некоторых различий для разных скульптур. С помощью ультразвукового обследования была определена глубина отдельных трещин на ногах атлантов.

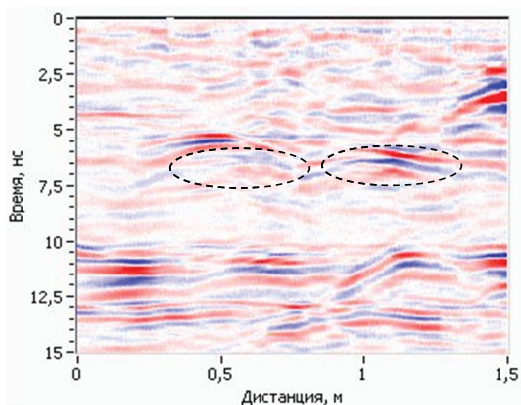


Рис.8. Радиолокационное изображение по трассе вдоль балки



Рис.9. Кованый анкер и пирон (вид снизу справа)

Использование технологии СШП РЛ зондирования в комплексе с другими методами неразрушающего контроля позволяет предоставить специалистам-реставраторам более полную информацию об объектах культурного наследия. При этом перечень используемых методов надо расширять.

МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИНЪЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ



Ю.В. ЯСТРЕБОВ
к.т.н., начальник
отдела НТК СГЛ



В.И. КУЛИКОВ
Начальник лаборатории
НТК СГЛ



В.В. КОСТЫЛЕВА
Ведущий инженер
НТК СГЛ

Рассматривается методика оперативной оценки качества инъектирования строительных конструкций, основанная на методе сверхширокополосной радиолокации и анализе скорости распространения электромагнитных волн в строительных конструкциях до и после проведения восстановительных работ способом инъектирования.

Благодаря появлению современных материалов с уникальными характеристиками в последнее время существенное развитие получил метод восстановления физических и эксплуатационных характеристик бетонных и кирпичных строительных конструкций, основанный на технологии инъектирования. Этот метод, несмотря на относительную новизну, доказал свою эффективность и экономическую целесообразность.

Сущность метода инъектирования заключается в том, что в строительную конструкцию (бетон, кирпичную кладку и др.) через инъекторы под давлением закачивают специальные растворы, которые, заполняя полости, надежно скрепляют и герметизируют их, обеспечивая восстановление несущей способности самой конструкции.

Однако в настоящее время активное внедрение технологий инъектирования ограничивается отсутствием инструментальных средств контроля, адаптированных к решаемым задачам, и методик измерений, позволяющих оперативно проводить оценку качества выполненных работ.

Существующие методы ограничиваются, как правило, визуальным контролем либо требуют выбуривания кернов на отдельных участках строи-

тельной конструкции с последующим испытанием их в лабораторных условиях. Это не в полной мере удовлетворяет предъявляемым требованиям оперативности получения результатов и сохранности целостности объектов, в особенности объектов культурного наследия [1].

Для оценки качества инъектирования предлагается использовать метод сверхширокополосной (СШП) радиолокации, основанный на излучении в исследуемую среду коротких радиоимпульсов и анализе изменения скорости распространения электромагнитной волны в строительных конструкциях до и после инъектирования.

Измерения осуществляются с помощью СШП локатора (георадара) на базе двухканального стробоскопического приемника с комплектом антенн и генераторов, основные характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Основные характеристики

Размер временного окна	50 нс, не менее;
Полоса пропускания приемника каждого канала	2 ГГц, не менее;
Число точек во временном окне	512, не менее;
Уровень шумов приемника (RMS)	1,4 мВ, не более;
Длительность зондирующего импульса по уровню 0.5	0.5 – 2нс;
Рабочая полоса частот антенн	от 0.5 до 2 ГГц.

Передающая и дополнительная приемная антенна размещаются на одной и той же поверхности исследуемой строительной конструкции на фиксированном расстоянии друг от друга. Основная приемная антенна располагается напротив передающей на противоположной поверхности строительной конструкции. Сигнал, принимаемый дополнительной антенной (сигнал взаимодействия), используется в качестве опорного для учета и компенсации погрешностей. Зондирование осуществляется по схеме, приведенной на рис. 1.

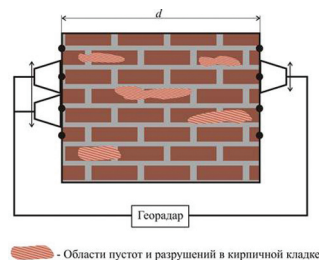


Рис.1. Схема зондирования

Скорость распространения электромагнитной волны в материалах, из которых выполнены строительные конструкции, меньше, чем в воздухе. При проведении работ по восстановлению целостности (прочности) строительных конструкций методом инъектирования происходит заполнение специальным раствором имеющихся полостей, что приводит к уменьшению скорости распространения.

Для получения количественных оценок при расчетах используется не скорость распространения, а относительная диэлектрическая проницаемость, которая вычисляется по времени запаздывания сигнала в материале обследуемой строительной конструкции.

По вычисленным значениям относительной диэлектрической проницаемости до и после инъектирования, используя уравнение Бруггемана-Оделевого [2], определяется: $\theta_{до}$ – объемная доля полостей до инъектирования и θ_n – объемная доля полостей после инъектирования.

Для вычислений необходимо иметь данные о диэлектрической проницаемости контрольного образца (материала, из которого изготовлена строительная конструкция без пустот и при пористости, близкой к нулю). Контрольный образец изготавливается в лабораторных условиях из керна, выбуренного в строительной конструкции.

При отсутствии контрольного образца используют справочные данные о диэлектрической проницаемости материала. В случае невозможности вырубки керна и отсутствии справочных данных рассчитывают значение диэлектрической проницаемости «гипотетического образца», исходя из того, что объемная доля полостей у него должна превышать максимально допустимую естественную пористость материала, из которого изготовлена строительная конструкция.

Так, кирпичная кладка, выполненная из различного типа кирпича, имеет пористость не менее 6 – 8%, но не более 20%. Пористость тяжелого бетона колеблется от 6 до 15%, в зависимости от рода заполнителей, состава бетона и методов уплотнения.

Исходя из этого, объемная доля полостей, например, для «гипотетического образца», выполненного из кирпичной кладки, должна составлять не менее 20 – 25%. С учетом этого определяется диэлектрическая проницаемость «гипотетической» кирпичной кладки (без полостей и при пористости близкой к нулю).

Для количественной оценки качества инъектирования рассчитывается относительный коэффициент, характеризующий степень заполнения полостей после инъектирования:

$$\theta = \left(\frac{\theta_{до} - \theta_n}{\theta_{до}} \right) \cdot 100\%$$

В соответствии с «Инструкцией по ремонту и защите бетонных и железобетонных конструкций методом инъектирования», согласованной с ЦНИИ-ИС, качество инъектирования считается удачным в случае, если инъекционным материалом заполнено не менее 80% полостей.

При значениях $60\% \leq \theta < 80\%$ качество инъектирования считается удовлетворительным.

Получение интегральной оценки качества инъектирования всей (или части) обследуемой строительной конструкции обеспечивается усреднением результатов измерений в нескольких точках. Количество точек и расстояние



ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА РАЗВЕДКИ, УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ «СТРЕЛЕЦ»



А.Ю. КАПЛИН

Генеральный
конструктор

ОАО «Радиоавионика»,
к.т.н.

Рассматриваются проблемы создания информационных комплексов разведки, управления и связи как части перспективной индивидуальной боевой экипировки военнослужащего. При этом встроенная в экипировку аппаратура и ее программное обеспечение должны одновременно выполнять как функции индивидуального информационно-прицельного комплекса, так и функции терминала автоматизированной системы управления тактического звена.

Прогнозируемый характер возможных войн и вооруженных конфликтов будущего значительно повышает роль систем разведки, управления и связи для подразделений и малых тактических групп вплоть до отдельного военнослужащего. Проблема создания подобных систем находится на стыке вопросов создания автоматизированных систем управления для нижних уровней тактического звена («отдельный военнослужащий – отделение – взвод – рота») и перспективной индивидуальной боевой экипировки военнослужащего. При этом встроенная в экипировку аппаратура и ее программное обеспечение должны одновременно выполнять как функции индивидуального информационно-прицельного комплекса, так и функции терминала автоматизированной системы управления тактического звена.

Анализ результатов зарубежных разработок комплексов боевой экипировки показывает, что в основу наиболее совершенных образцов положен интегрированный индивидуальный информационный комплекс, встроенный в транспортную систему разгрузочного жилета или бронежилета. Ядром интегрированного индивидуального информационного комплекса служит вычислительная система, к которой в качестве внешних модулей подключаются современные средства радиосвязи, спутниковой навигации, ввода и отображения информации (в том числе нацеленный индикатор), средства разведки, наблюдения и прицеливания (в том числе телевизионные и тепловизионные). Благодаря наличию вычислительной системы, все указанные элементы работают как единое целое, превращая солдата и его оружие в информационно-боевую систему.

По этому принципу построены наиболее совершенные образцы, такие как FELIN (Франция) (рис. 1), Land Warrior (рис. 2) и его развитие GSS (США),

IdZ-ES (Германия) (рис. 3). Работы по созданию подобных систем проводятся как в странах НАТО – FIST (Великобритания), Soldato Futuro (Италия), ComFut (Испания), ISSP (Канада), NORMANS (Норвегия) (рис. 4), VOSS (Нидерланды), TYTAN (Польша), Vojak-21 (Чехия), PIBS (Словакия), RIFS (Румыния), так и в других промышленно развитых странах – Dominator (Израиль), Markus (Швеция), IMESS (Швейцария), Land 125 (Австралия), ACMS (Сингапур). При этом следует отметить, что все указанные страны выполняют свои программы самостоятельно, исходя из требований национальных вооруженных сил.

Анализ зарубежных разработок показывает, что ряд образцов с целью снижения стоимости изделия и улучшения его массогабаритных характеристик имеет сокращенный набор функциональных возможностей. Он, как правило, ограничен задачами цифровой передачи речи и команд управления, спутниковой навигации и контроля местоположения военнослужащих своего подразделения. Типичными примерами подобного подхода могут служить норвежский комплекс NORMANS (рис. 4) или комплекс BattleHawk IDSS (рис. 5), создаваемый британской фирмой Cobham.

В целом, оба упомянутых подхода (полнофункциональный и упрощенный) достаточно обоснованы, и их применение определяется задачами, поставленными перед оснащаемыми подразделениями, объемом закупок, а также финансовыми возможностями государства.

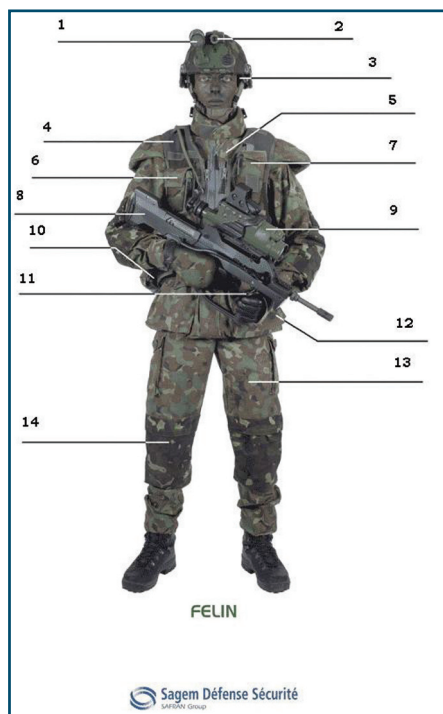


Рис. 1. Комплекс FELIN (Франция)

- 1 — Навешенный индикатор
- 2 — Низкоуровневая телекамера
(в наст. время исключена)
- 3 — Остеофонная гарнитура
- 4 — Транспортный жилет
- 5 — Противопульная защита
- 6 — Модуль внутренней связи
и спутниковой навигации
- 7 — Модуль управления и индикации
- 8 — Модернизированная винтовка FAMAS
- 9 — Комбинированный (день/ночь) прицел
- 10 — Аккумуляторные батареи (две)
- 11 — Модуль дистанционного управления
- 12 — Центральная вычислительная система
- 13 — Высокотехнологичное волокно
- 14 — Противопульные наколенники



Рис. 2.

Комплекс Land Warrior (США)



Рис. 3. Комплекс IdZ-ES (Германия)



Рис. 4. Комплекс NORMANS (Норвегия)
1 — Модуль управления фирмы Thales
2 — Цифровая радиостанция Harris RF-7800 SPR
3 — Аккумуляторная батарея



Рис. 5. Комплекс BattleHawk IDSS (Великобритания)
1 — Индивидуальный терминал
2 — Микрофонно-телефонная гарнитура
3 — Высокоскоростная цифровая радиостанция
4 — Батарея (аккумуляторная или разовая кассета)
5 — Соединительный кабель

В нашей стране работы по созданию интегрированных индивидуальных информационных комплексов военнослужащих были развернуты со второй половины 90-х годов прошлого века. Наиболее значительным достижением в этой области стала разработка в период 2001 - 2006 г.г. комплекса разведки, управления и связи (КРУС) «Стрелец» (рис. 6).

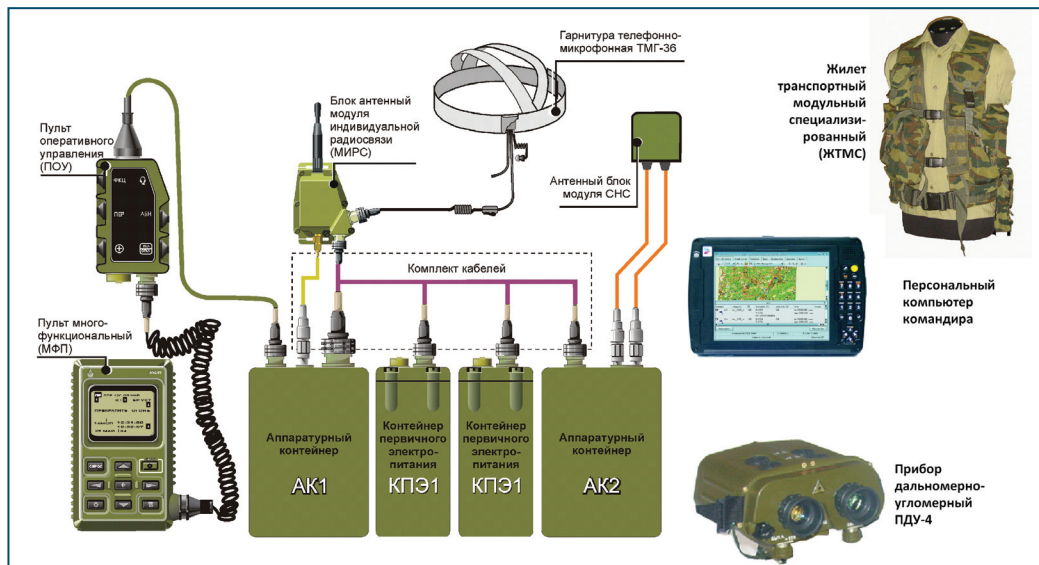


Рис. 6. Носимый комплект командира подразделения из состава КРУС «Стрелец» (2007 – 2010 годы)

Комплекс предназначен для информационного обеспечения общевойсковых и разведывательных подразделений, действующих в пешем и смешанном боевых порядках, и является автоматизированным средством управления типовыми воинскими формированиями тактического звена («рота – взвод – отделение – отдельный военнослужащий»). Базовый комплект КРУС и КРУС для войсковой разведки прошли большой объем испытаний и экспериментальных проверок в войсках как в ходе его разработки, так и по ее завершении, и в 2007 году приняты на снабжение Вооруженных Сил Российской Федерации приказами Министра обороны РФ.

КРУС освоен в серийном производстве и в период 2007 – 2010 г.г. поставлялся в разведывательные подразделения Сухопутных войск, а также для базового комплекта Единой системы управления тактического звена (ЕСУ ТЗ), в которую он полностью интегрирован.

Результаты войсковой эксплуатации КРУС «Стрелец» в целом подтвердили значительное повышение эффективности применения разведывательных подразделений, оснащенных комплексом, а также сформировали положительное мнение о нем военнослужащих. В то же время в войсках отмечали довольно значительную массу комплекса (для базового носимого комплекта она составляла 5,6 кг, что сопоставимо с массой комплекса Land Warrior (5,8 кг) и больше, чем у комплекса FELIN (4,5 кг)), низкую надежность имеющего сложную конфигурацию объединительного кабеля, а также ограниченную дальность действия используемых для внешней связи радиостанций 5-го поколения семейства Р-168 «Акведук». Немаловажную роль играла и достаточно высокая стоимость носимых комплектов.

По опыту войсковой эксплуатации с 2010 года в ходе серийного производства осуществляется доработка КРУС на основе современной элементной базы. В результате масса поставляемого в войска с 2011 года носимого комплекта общего назначения снижена в 2,3 раза (с 5,6 до 2,4 кг), время непрерывной работы увеличено в 1,7 раза (с 7 до 12 часов), значительно улучшена эргономичность и расширена номенклатура сопрягаемых средств связи, разведки, наблюдения и целеуказания (в том числе беспилотных летательных аппаратов). Выполненные работы позволили достигнуть снижения стоимости базового носимого комплекта практически в 2 раза.

КРУС «Стрелец» имеет модульную структуру и построен на принципах открытой архитектуры, что позволяет в рамках одного изделия формировать как полнофункциональные носимые комплекты, так и облегченные варианты с ограниченным набором функциональных возможностей (рис. 7-9). Подобно своим ближайшим зарубежным аналогам (FELIN, Land Warrior, IdZ-ES и др.) комплекс реализует концепцию «одеваемого компьютера» (Wearable Computer), встроенного в индивидуальную боевую экипировку бойца.

Ядром КРУС является многофункциональный информационный комплекс (МИК), который размещается на военнослужащем и встроен в его экипировку. На него возлагаются задачи обеспечения цифровой речевой радиосвязи внутри подразделения, передачи данных (в том числе текстовых сообщений, данных целеуказания, а также информации о положении и состоянии военнослужащего), определения собственного местоположения и обеспечения движения по маршруту с помощью спутниковой навигационной системы, выработки установок и поправок для стрелкового оружия и средств ближнего боя, а также сопряжения с внешними модулями.

В состав МИК входят вычислительная система (осуществляющая обработку информации), контейнер электропитания, многофункциональный пульт (являющийся основным органом управления и отображения информации), пульт оперативного управления (предназначенный для выполнения основных функций управления без отвлечения внимания от окружающей обстановки) и телефонно-микрофонная гарнитура. В МИК общего назначения для разведывательных подразделений (рис. 8) дополнительно включаются высокоточный модуль спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС/GPS, а также модуль высокоскоростной индивидуальной радиосвязи. При этом каждый МИК может являться не только источником или получателем информации, но и ретранслятором в радиосети со статической или динамической маршрутизацией.

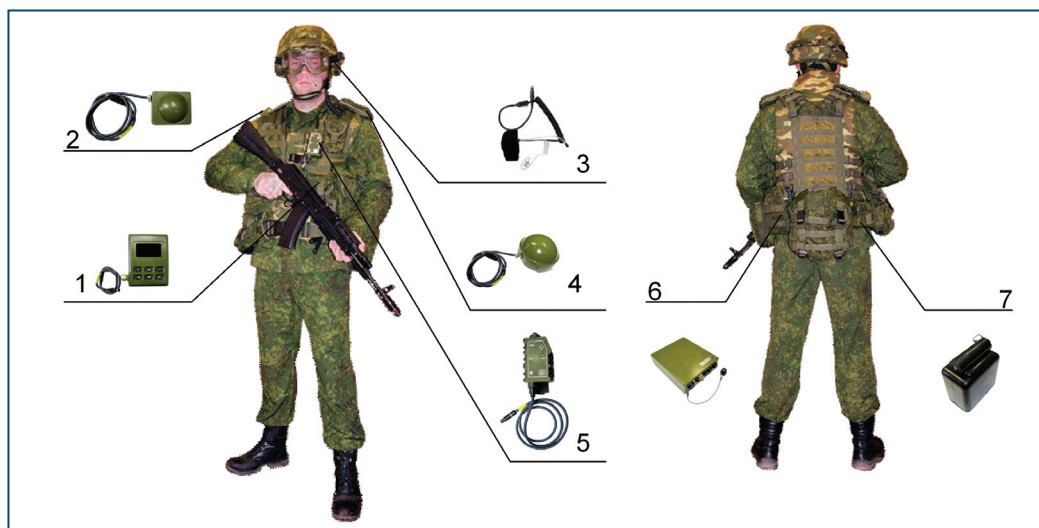


Рис. 7. Многофункциональный информационный комплекс общего назначения (Размещение на военнослужащем) 1 — Многофункциональный пульт 2 — Модуль спутниковой навигационной системы 3 — Телефонно-микрофонная гарнитура 4 — Антенный блок модуля индивидуальной радиосвязи 5 — Пульт оперативного управления 6 — Вычислительная система 7 — Контейнер электропитания

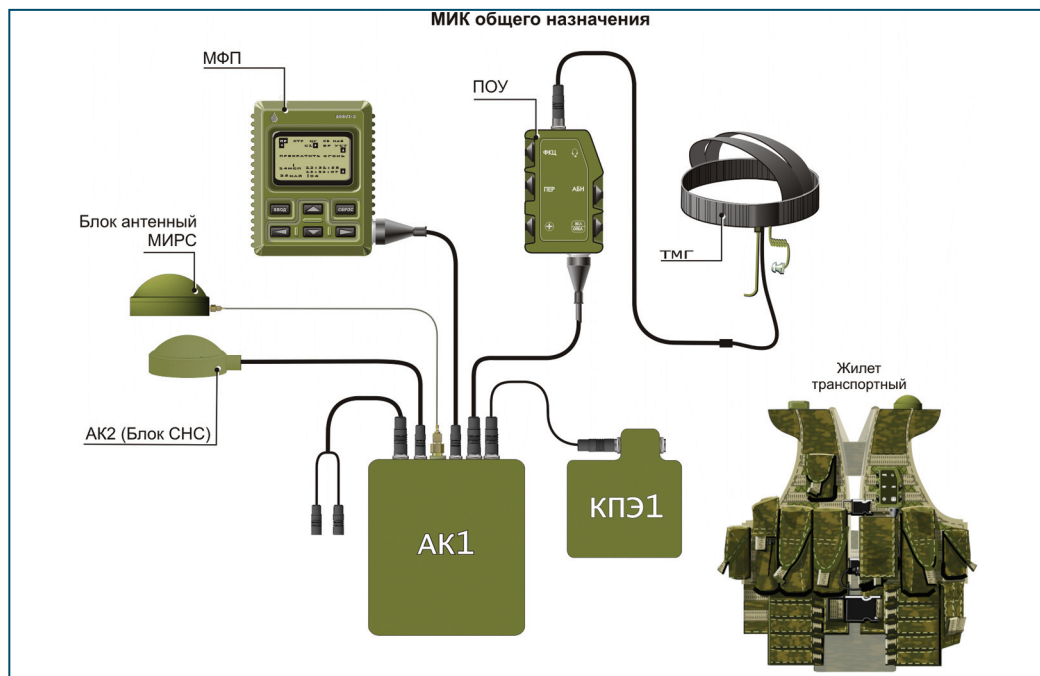


Рис. 8. Многофункциональный информационный комплекс общего назначения для разведывательных подразделений

Для общевойсковых подразделений МИК предполагается использовать с цифровыми радиостанциями 6-го поколения семейства Р-187 «Азарт», обеспечивающими не только внутреннюю и внешнюю радиосвязь, но и определение местоположения по данным спутниковой навигационной системы со стандартной точностью (рис. 9). Важнейшим модулем КРУС, предназначенным для обеспечения управления подразделением, является персональный компьютер командира (рис. 10). На его экране на фоне цифровой карты местности отображается тактическая обстановка, в том числе текущее местоположение каждого военнослужащего, его состояние («жив-ранен», наличие радиосвязи и достоверность определения его координат), координаты обнаруженных объектов противника и разрывов снарядов и мин (при корректировке огня артиллерии). С помощью специального программного обеспечения осуществляется подготовка боевых документов и оперативное задание маршрутов передвижения для каждого бойца. Полная масса персонального компьютера командира (в защитном чехле) составляет 2,2 кг. Связь между МИК командира и его персональным компьютером – беспроводная.

Индивидуальные модули автономной навигации (рис. 11), персональной идентификации на поле боя (рис. 12) и медицинского мониторинга военнослужащего (рис. 13) являются опциональными и при подключении к МИК должны расширять его функциональные возможности. При этом модуль ав-

тономной навигации (рис. 11) должен обеспечивать погрешность определения местоположения не более 5% от пройденного пути. Модуль персональной идентификации на поле боя (рис. 12) должен обеспечивать определение принадлежности к своим силам в пределах дальности применения стрелкового оружия. Модуль медицинского мониторинга (рис. 13) должен обеспечивать выработку сигнала о ранении военнослужащего (в дополнение к имеющейся на пульте оперативного управления кнопке «Ранен»).

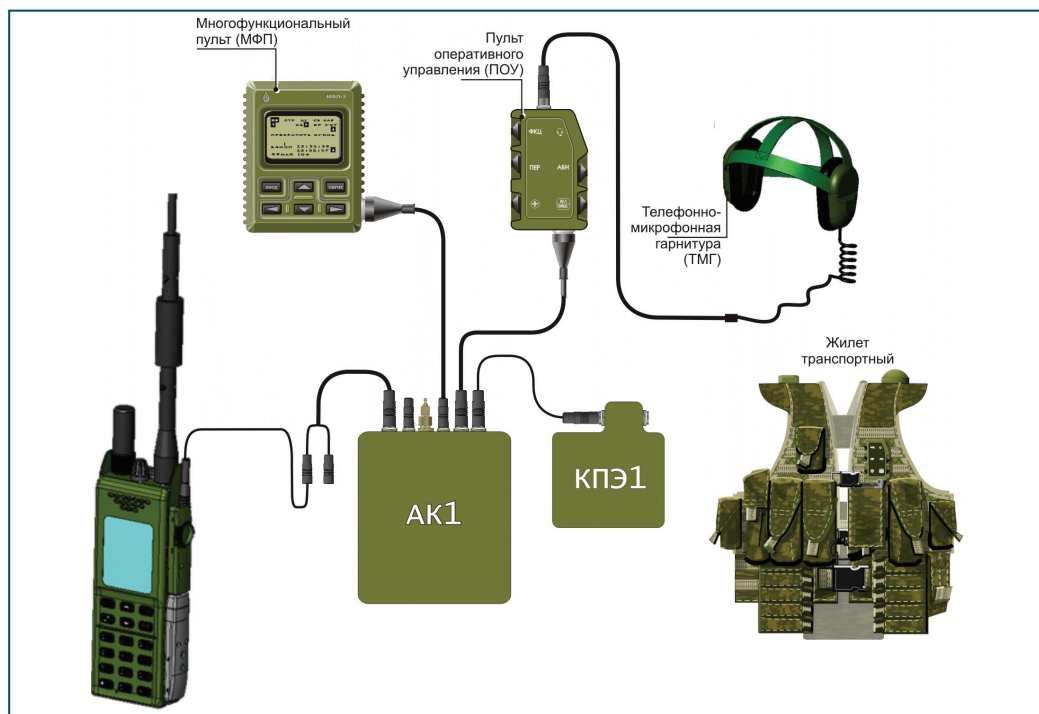


Рис. 9. Многофункциональный информационный комплекс для общевойсковых подразделений



Рис. 10. Персональный компьютер командира

В настоящее время значительно расширена номенклатура приборов разведки и наблюдения, сопрягаемых с КРУС «Стрелец». Помимо штатного лазерного дальномерно-угломерного прибора ПДУ-4, осуществляющего измерение относительных координат цели и получение ее цифровой фотографии, КРУС поддерживает соответствующие протоколы информационного обмена и обеспечивает получение коор-

Модуль автономной навигации обеспечивает:

- определение местоположения военнослужащего на местности или в закрытых помещениях в ситуациях, когда возможность ориентирования с помощью СНС невозможна или затруднена (с погрешностью, не более 5% от пройденного пути в течении двух часов при передвижении в пешем порядке вне городской инфраструктуры и в пределах одного часа в пределах населенных пунктов);
- выдачу топографических координат местоположения и его высоты над уровнем моря.

Сопряжение модуля автономной навигации с многофункциональным информационным комплексом

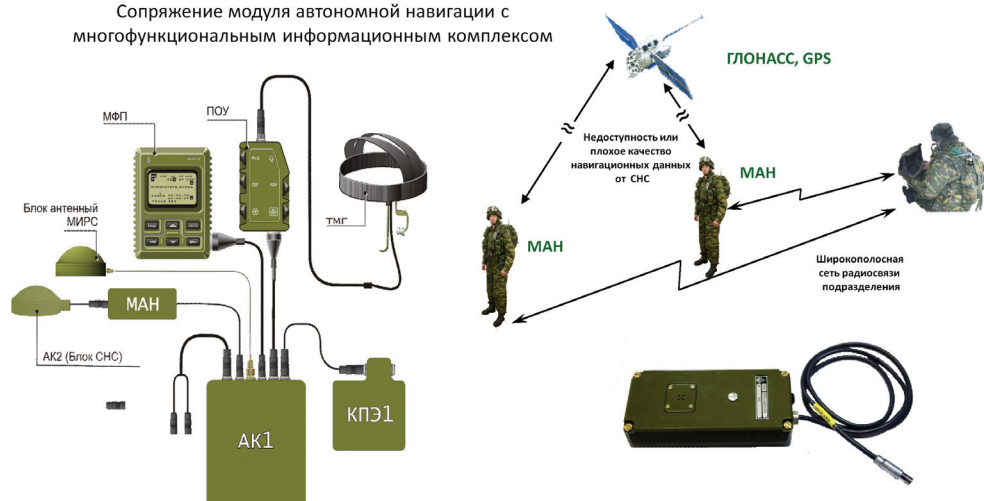


Рис. 11. Модуль автономной навигации военнослужащего

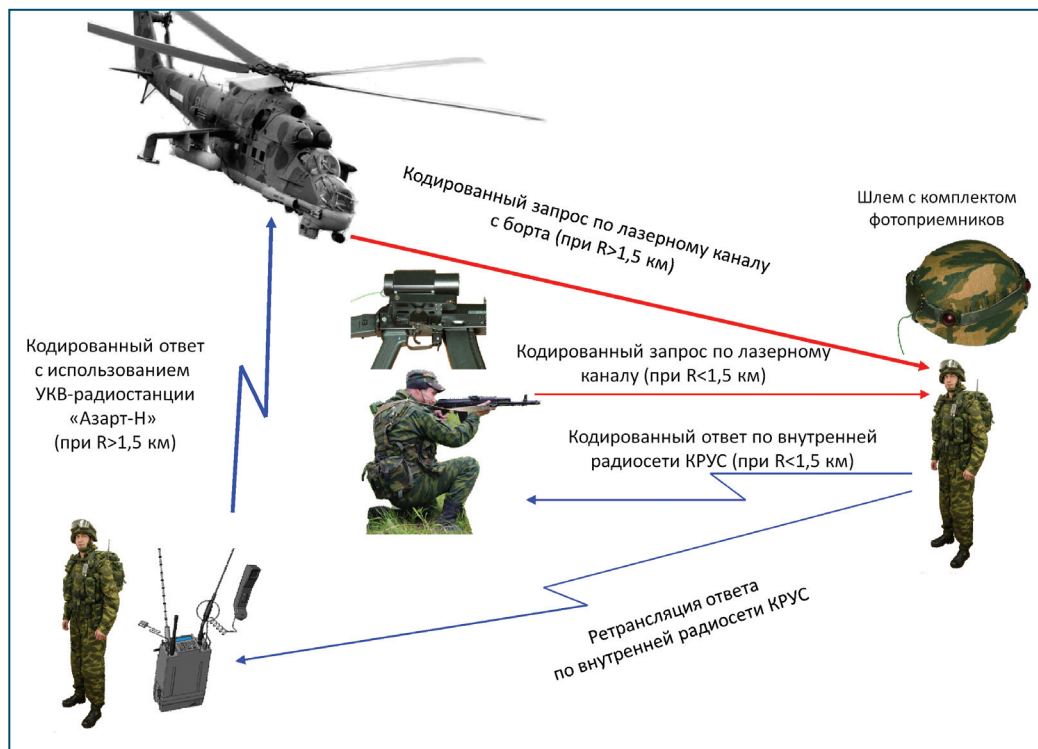


Рис. 12. Модуль персональной идентификации на поле боя

динатной, графической и другой специальной информации практически от всех современных приборов, включая лазерные и тепловизионные приборы, радиолокаторы разведки наземных движущихся целей, разведывательно-сигнализационную аппаратуру и т.п. Особо следует отметить возможность сопряжения с комплексами малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, благодаря которому координаты и изображения обнаруженных объектов не остаются «достоянием» тех, кто находится рядом с пультом управления беспилотного аппарата, а передаются непосредственно потребителям этой информации (рис. 14).



Рис. 13. Модуль медицинского мониторинга

Благодаря использованию принципов открытой архитектуры, в составе комплекса «Стрелец» могут быть использованы различные средства радиосвязи ультракоротковолнового и дециметрового диапазонов длин волн, а также спутниковые радиостанции, обеспечивающие передачу данных. Однако в ближайшей перспективе в качестве штатных средств радиосвязи в составе «Стрельца» предполагается использовать только радиостанции 6-го поколения семейства Р-187 «Азарт» и малогабаритные спутниковые радиостанции типа «Белозер-7».

Отличительной чертой полнофункциональных комплексов типа FELIN, IdZ-ES и Land Warrior является передача в форме «живого видео» изо-

бражения от телевизионного или тепловизионного прицела на выносной (прежде всего, наплечный) индикатор. Это необходимо для обеспечения применения индивидуального оружия без совмещения линии прицеливания с оптической осью глаза стрелка (т. е. прицельной стрельбы «из-за угла»). В ряде случаев возникает необходимость передачи видеосигнала от прицела или прибора наблюдения по радиоканалу командиру или другому потребителю.

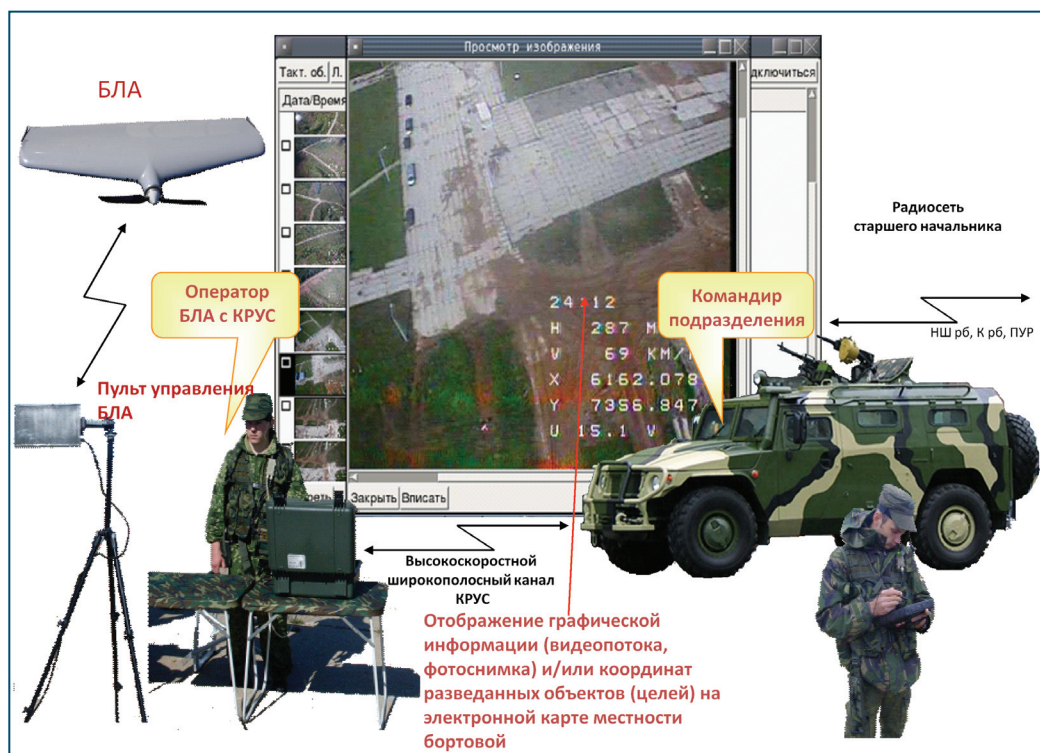


Рис. 14. Передача данных от беспилотного летательного аппарата с помощью КРУС

Эти задачи выдвигают дополнительные требования к производительности вычислительных средств, набору внешних интерфейсов, номенклатуре периферийного оборудования, что существенно усложняет (и, следовательно, удорожает) носимый комплекс и повышает его энергопотребление. В то же время указанные задачи не характерны для большинства воинских специальностей.

Исходя из этого, в составе КРУС «Стрелец» предусмотрена специальная полнофункциональная модификация МИК – многофункциональный информационный комплекс специального назначения (рис. 15). В его составе вычислительная система с более мощным процессором, более энергоемкий источник питания, расширенный набор внешних ин-

терфейсов, обеспечивающий одновременное подключение всех внешних модулей, а также графический многофункциональный пульт-индикатор. Опционально в состав носимых комплектов на основе МИК специального назначения включается нашлемный индикатор со своим пультом управления.

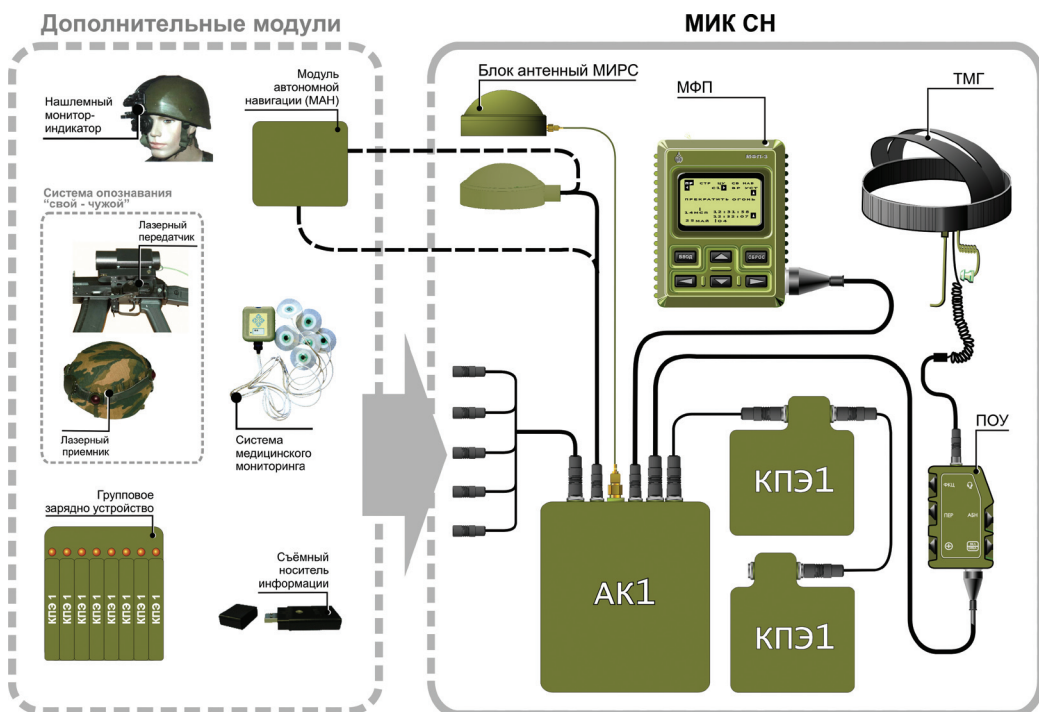


Рис. 15. Многофункциональный информационный комплекс специального назначения

Определенную проблему представляет отсутствие в настоящее время широкой номенклатуры отечественных телевизионных и тепловизионных прицелов, пригодных для применения в составе интегрированных информационных комплексов военнослужащих. Одним из немногих современных образцов является отечественный тепловизионный прицел «Шахин» (рис. 16).

В качестве временного решения проблемы может рассматриваться закупка соответствующих образцов за рубежом. При этом архитектура КРУС позволяет использовать в своем составе зарубежные изделия, имеющие стандартные интерфейсы. В состав специального программного обеспечения КРУС «Стрелец» помимо комплексов программных средств для управления мотострелковыми и разведывательными подразделениями включены комплексы программных средств для управления инженерными подразделениями и подразделениями РХБ-защиты, а также специальные программные средства для решения задач целеуказания и обслуживания

стрельбы артиллерии и задач, выполняемых передовыми авианаводчиками (рис. 17). В последнем случае при взаимодействии с фронтовыми бомбардировщиками Су-24М, оснащенными системой СВП-24, обеспечивается наведение на цели без привлечения дополнительных наземных средств управления (рис. 18).

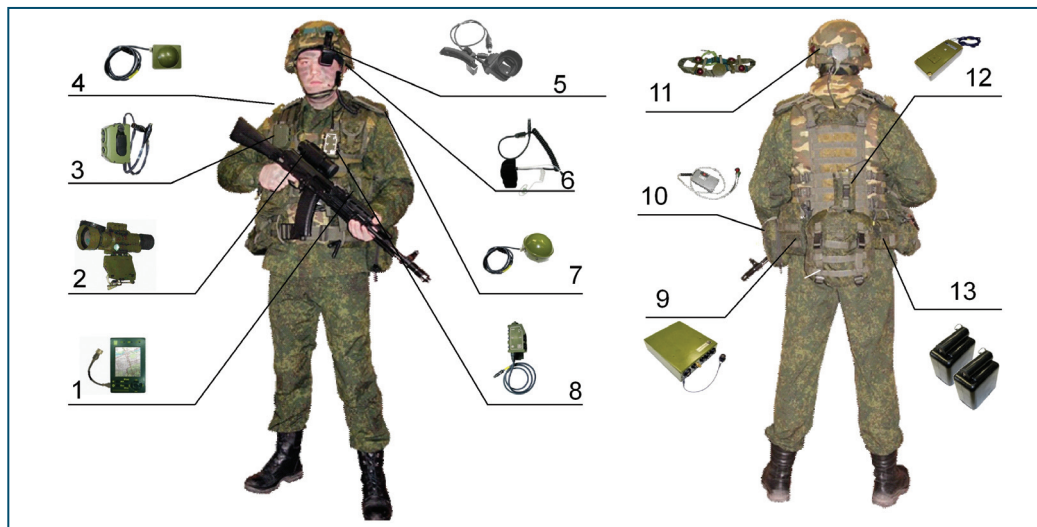


Рис. 16. Носимый комплект на основе МИК специального назначения (Размещение на военнослужащем). 1 — Многофункциональный пульт-индикатор 2 — Тепловизионный прицел «Шахин» 3 — Пульт управления нацеленным индикатором 4 — Модуль спутниковой навигационной системы 5 — Нацеленный индикатор Rockwell SO-35A 6 — Телефонно-микрофонная гарнитура 7 — Антенный блок модуля индивидуальной радиосвязи 8 — Пульт оперативного управления 9 — Вычислительная система 10 — Модуль медицинского мониторинга 11 — Приемники лазерного излучения 12 — Модуль автономной навигации 13 — Контейнеры электропитания

В целом номенклатура средств, имеющаяся в составе КРУС, позволяет обеспечить автоматизированное управление малой тактической группой, составленной из разнородных подразделений и других тактических единиц. Это особенно актуально для подразделений легкого типа, применение которых характеризуется автономными действиями в особых условиях (лес, горы, населенный пункт) в пеших боевых порядках или на легких бронированных машинах типа ГАЗ-233014 («Тигр») и IVECO LMV M-65 (рис. 19). В этой связи значительный интерес представляет возможность унификации носимых комплектов на основе КРУС и бортовых комплектов легких машин. Из-за жестких массогабаритных ограничений по размещению аппаратуры установка на эти машины бортового комплекса на основе КРУС «Стрелец» подходит наилучшим образом.

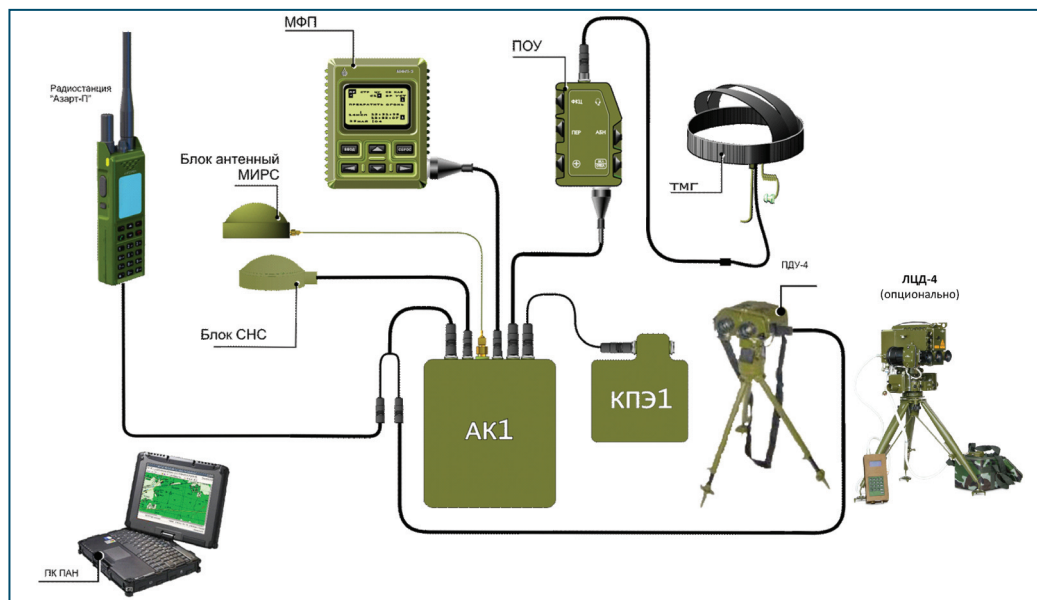


Рис. 17. Носимый комплекс передового авианаводчика на основе КРУС «Стрелец» и радиостанции «Азарт-П»

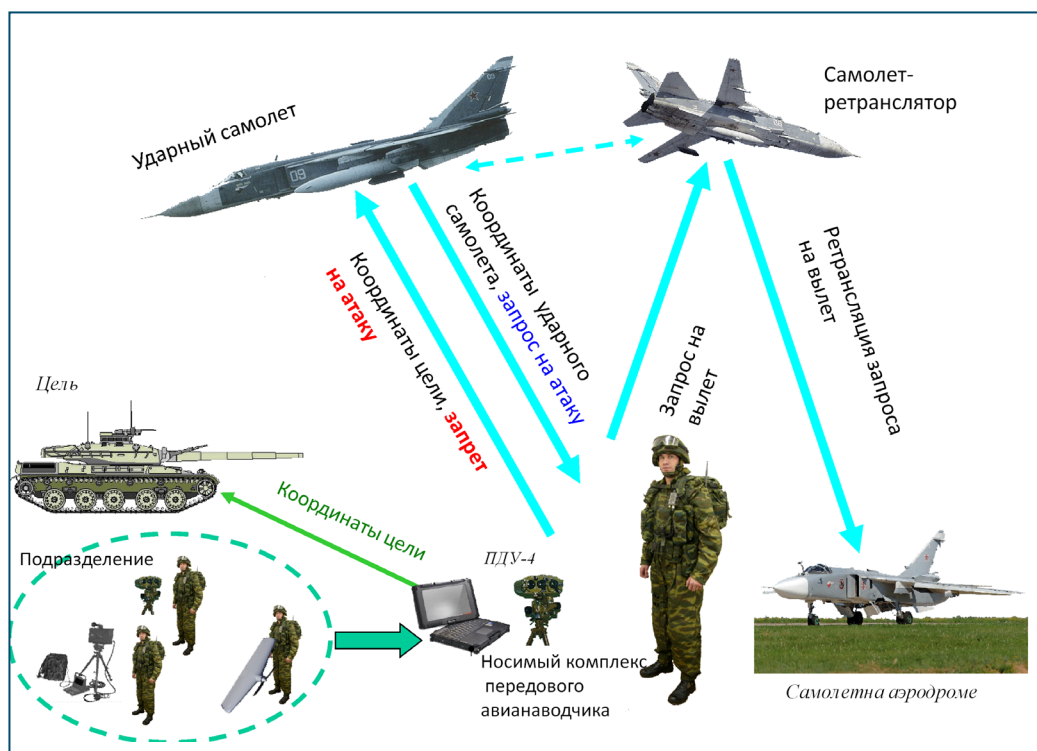


Рис. 18. Применение КРУС «Стрелец» для наведения фронтовых бомбардировщиков Су-24М, оснащенных системой СВВП-24

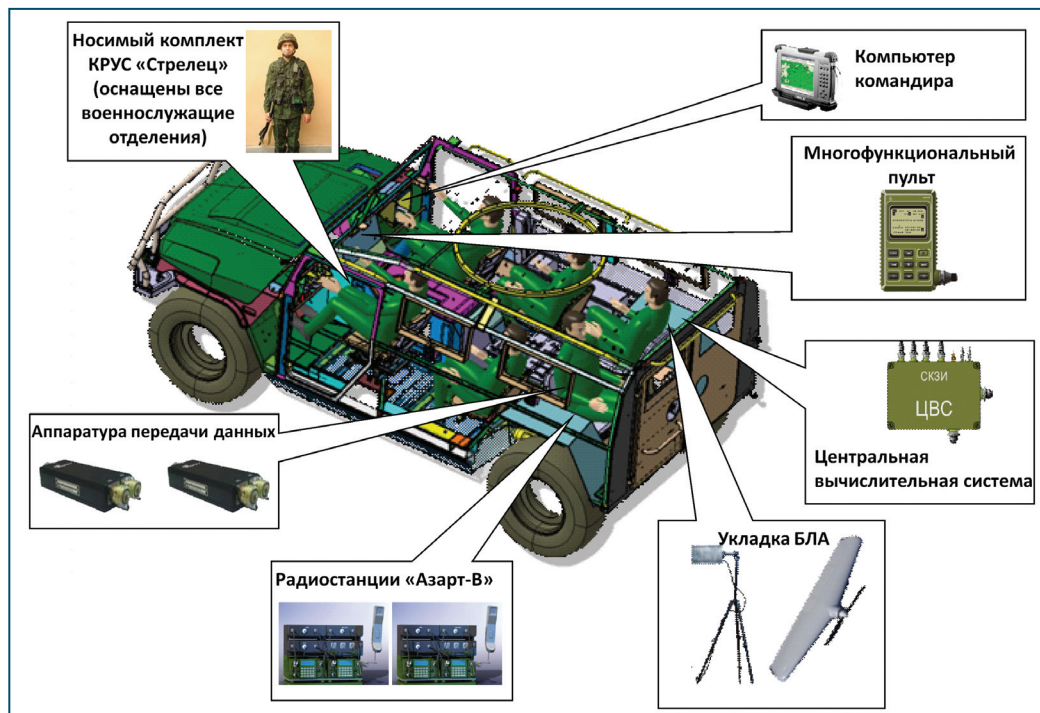


Рис. 19. Размещение КРУС «Стрелец» на легком бронированном автомобиле IVECO LMV M65

В заключение следует отметить, что при разработке КРУС была создана малогабаритная универсальная информационная платформа, способная интегрировать в единую систему средства разведки, наблюдения, целеуказания и прицеливания, а также обработки, передачи и ввода-вывода информации. Благодаря использованию принципов открытости архитектуры, модульности исполнения, сочетаемости с боевой экипировкой, адаптации к новым задачам и условиям боевого применения, КРУС «Стрелец» имеет значительный потенциал для совершенствования, реконфигурации, наращивания функциональных возможностей и в наибольшей степени подходит для создания различных модификаций. При этом в качестве сопрягаемых модулей могут использоваться не только отечественные, но и зарубежные образцы военной техники.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА МАЛОДЕЯТЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ



А.Ю. КАПЛИН

Генеральный
конструктор
ОАО «Радиоавионика»,
к.т.н.



М.Г. СТЕПАНОВ

Первый заместитель
директора НТК ПИТ
по научной работе,
д.т.н., профессор



В.В. ЕЛИШЕВ

Начальник отдела
НТЦ системотехники,
к.т.н., доцент

Рассматривается возможность использования спутниковой навигации и связи для обеспечения надежного управления движением поездов и безопасности перевозок на малодеятельных участках ОАО «РЖД».

«Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации» определяют малодеятельные участки (МДУ) как участки с размерами движения пассажирских и грузовых поездов (в сумме) по графику не более 8 пар в сутки.

Протяженность малодеятельных участков на сети железных дорог России более 13 тысяч км, что составляет около 15% эксплуатационной длины всей сети, их обслуживают не менее 10 тысяч человек. Подобные участки чаще всего являются убыточными. Эксплуатационные расходы на их обслуживание необходимо сокращать за счет использования передовых информационных технологий, расширения функциональных возможностей применяемых технических систем. Необходимо оптимизировать оснащенность МДУ средствами железнодорожной автоматики, навигации и связи и находить экономически эффективные варианты автоматизации управления движением поездов.

Предварительный анализ МДУ [1] показывает наличие значительных резервов пропускной способности таких линий по пути и устройствам сигнализации, централизации, блокировки. Например, автоматической

блокировкой оборудованы около 40 малодеятельных участков. В основном это участки Московской (15 участков общей протяженностью 958,4 км) и Октябрьской железных дорог (10 участков общей протяженностью 678,4 км).

Большая часть малодеятельных линий (более 60%) оборудована полуавтоматической блокировкой, которая позволяет пропускать поезда с более высокой частотой, чем это имеет место сейчас. В современной экономической ситуации серьёзные капитальные вложения в оснащение МДУ средствами сигнализации, централизации и блокировки нецелесообразны, а требуется максимально эффективно использовать уже имеющуюся инфраструктуру напольных средств автоматизации и связи [1].

Таким образом, использование систем спутниковой навигации и связи для организации движения поездов на МДУ позволит автоматизировать управление и повысить безопасность движения без существенного вложения средств на развитие напольной инфраструктуры, с минимальным использованием людских ресурсов.

Будем исходить из того, что низкая интенсивность движения подвижного состава на МДУ не предполагает регулирования интервалов движения в реальном времени и сверхточного позиционирования. Допустимы кратковременные перерывы в спутниковой навигации и связи при обязательном обеспечении заданного уровня безопасности.

Принципы использования систем спутниковой навигации и связи для организации движения поездов на МДУ приведены на рис.1.

Предлагается оборудовать локомотивную подсистему управления движением навигационными модулями (модули РНПИ, GNSS, CH-4706), способными проводить высокоточные навигационные определения по глобальным спутниковым навигационным системам ГЛОНАСС/GPS как в абсолютном, так и в дифференциальном режимах, принимая дифференциальные поправки в формате данных RTCM по цифровым радиоканалам. Кроме того, модули РНПИ способны работать со спутниковой навигационной системой ГЛОНАСС в двухчастотном режиме высокой точности. Погрешности определения координат всеми навигационными модулями в дифференциальном режиме не превышают 1...1,5 м.

Контрольно-корректирующие станции ГЛОНАСС/GPS отечественного производства предлагается размещать вблизи узловых станций малодеятельных участков железных дорог таким образом, чтобы обеспечить требуемые точности определения дислокации поездов минимальным числом станций. Дифференциальные поправки, формируемые контрольно-корректирующими станциями, сначала передаются по радиоканалам СВ диапазона на приемник дифференциальных поправок в формате RTCM 104, расположенный вблизи диспетчера участка. Из этого приемника дифферен-

циальные поправки поступают в управляюще-вычислительный комплекс диспетчера участка, где происходит их инкапсуляция в стандартные форматы сообщений применяемой на данном участке конкретной цифровой системы радиосвязи, а затем они передаются на локомотивные навигационные модули в составе стандартных цифровых сообщений, но с сохранением формата данных RTCM. Использование контрольно-корректирующих станций ГЛОНАСС/GPS, передающих дифференциальные поправки в кодовом режиме, обеспечивает определение координат подвижного состава в плоскости с погрешностями не более 1 м вплоть до границ зоны в 300 км от станции.

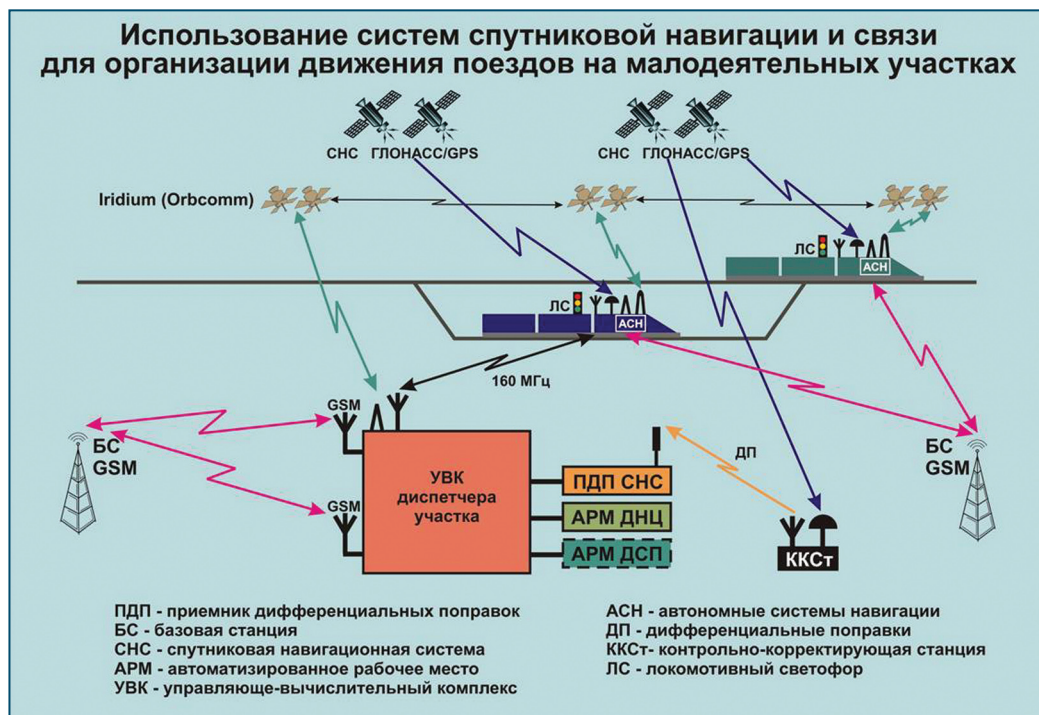


Рис. 1. Использование систем спутниковой навигации и связи для организации движения поездов на малодеятельных участках

Дополнительное оборудование локомотивов одометрической и инерциальной навигационными системами позволяет обеспечить требуемые точности координатного позиционирования подвижного состава и безопасное управление движением поездов даже в условиях кратковременного отсутствия сигналов ГЛОНАСС/GPS. Навигационные системы локомотива проводят совместные вычисления и полученную объединенную итоговую координатную информацию о местоположении локомотива передают по радиоканалам на управляюще-вычислительный комплекс диспетчера участка.

В качестве основного вида связи на МДУ предлагается использовать цифровую спутниковую связь. Локомотивы предлагается оборудовать радиомодемами низкоорбитальных систем мобильной связи «Iridium» (9522 Iridium Data Modem) или «Orbcomm», «Globalstar». В ряде случаев, при невозможности по тем или иным причинам использовать систему «Iridium», допускается использование систем спутниковой радиосвязи на геостационарных орбитах, например, на основе КА «Экспресс-АМ», «Глобус-1М» или «Инмарсат» в стандарте BGAN. Организация системы поездной радиосвязи с использованием системы глобальной мобильной спутниковой связи «Инмарсат» отрабатывалась на Свердловской железной дороге. Штатные радиосредства УКВ-диапазона резервировались станциями Inmarsat BGAN Nuhes 9250, размещаемыми на локомотивах, и станциями Inmarsat BGAN Trane&Trane EXPLORER 700, устанавливаемыми у поездного диспетчера и дежурных по станции.

При наличии базовых станций коммерческих сетей GSM вдоль всей протяженности малодеятельных линий предлагается оборудовать локомотивы радиомодемами GSM, работающими в режиме GPRS, в качестве дополнительного радиоканала связи. Если локомотивы оборудованы радиостанциями диапазона 160 МГц, то их допускается использовать в качестве дополнительного вспомогательного средства связи на дальностях не более 10 км от станций (предельная реальная дальность связи в этом диапазоне). В зависимости от вида радиомодемов, применяемых на локомотивах, станции на МДУ оборудуются соответствующими радиомодемами спутниковых систем «Iridium» («Экспресс-АМ», «Инмарсат»), модемами GSM и радиостанциями диапазона 160 МГц.

Если на МДУ отсутствует кабельное хозяйство, то управление стрелками (разъездами) также ведется по радиоканалу, при этом соответствующие технические средства оборудуются радиомодемами выбранной системы связи.

На вычислительный комплекс диспетчера участка по радиоканалам поступает вся информация, нужная для проведения расчетов по управлению движением поездов, вырабатывается необходимая управляющая информация и передается по радиоканалам на локомотивы и другие технические средства.

На локомотивы по этим же радиоканалам от диспетчера участка передается управляющая информация о сигналах локомотивного светофора.

Следует отметить, что не существует универсального (единственного) решения по использованию систем спутниковой навигации и связи для организации движения поездов на малодеятельных участках. Конкретный состав оборудования средств связи и навигации на каждом МДУ сильно зависит от: его оснащенности средствами сигнализации, централизации и

блокировки; рельефа местности; географических особенностей; растительности и наличия поблизости базовых станций сетей GSM. Исходя из указанных особенностей, каждый конкретный МДУ может быть оборудован навигационно-связной аппаратурой из состава перечисленных выше радиосистем. Так как основным требованием ОАО «РЖД» к малодеятельным линиям является их экономичность, то принципиальным предложением ОАО «Радиоавионика» является использование, кроме средств технологической радиосвязи диапазона 160 МГц, систем коммерческой связи, таких как «Iridium», и систем связи GSM.

Литература:

1. Прошкина Е.С. Модернизация малодеятельных железнодорожных линий России и повышение эффективности их использования в пассажирском сообщении: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. — М.: Государственный университет управления, 2008.

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОТОЧНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ОАО «РЖД»



А.Ю. КАПЛИН
*Генеральный
 конструктор
 ОАО «Радиоавионики»,
 к.т.н.*



М.Г. СТЕПАНОВ
*Первый заместитель
 директора НТК ПИТ
 по научной работе,
 д.т.н., профессор*



В.В. ЕЛИШЕВ
*Начальник отдела
 НТЦ системотехники,
 к.т.н., доцент*

Рассматриваются принципы организации высокоточных навигационных определений в задачах управления движением, обеспечивающие надежное управление движением поездов и безопасность перевозок в ОАО «РЖД».

Приоритетным направлением развития современных систем управления движением поездов является широкое внедрение спутниковых технологий, позволяющих проводить идентификацию, определять дислокацию и управлять движением подвижного состава с использованием координатно-временной информации от глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS.

В зависимости от круга задач, решаемых в ОАО «РЖД», возможны две группы требований по точности к координатно-временной информации. Наилучшие (сантиметровые и миллиметровые) погрешности навигационных определений требуются в задачах, связанных с развитием и поддержанием инфраструктуры ОАО «РЖД», в задачах мониторинга магистрали, модернизации, ремонта и строительства объектов железных дорог. Для обеспечения максимальной точности измерений глобальные спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС/GPS часто используются совместно со специальной геодезической реперной сетью, допускается применение по-

стообработки навигационных измерений. В задачах управления движением и обеспечения безопасности на железных дорогах требования по точности навигационных измерений несколько ниже, допустимые погрешности координатного позиционирования в режиме реального времени составляют до 1 метра на станционном развитии и в ходе маневровых (горочных) работ, и до 4 метров на перегонах между станциями. В задачах управления движением подвижного состава остановимся только на возможности удовлетворения последней группы требований.

Основную часть функций управления движением поездов предлагается возложить на систему интервального регулирования (СИР), которую ОАО «Радиоавионика» рассматривает как составную часть КСАУД (комплексной системы автоматизированного управления движением).

Высокоточные навигационные определения в системе интервального регулирования движения поездов предлагается организовать на следующих принципах (рис. 1):



Рис. 1. Принципы организации высокоточной дифференциальной спутниковой навигации в СИР ОАО «РЖД»

1. Вдоль всех участков железных дорог ОАО «РЖД» предлагается развернуть распределенную сеть контрольно-корректирующих станций

ГЛОНАСС/GPS, например, станций Репер-01 (разработки НПО Космического Приборостроения, г. Москва), или другие отечественные контрольно-корректирующие станции, которые предлагается размещать на узловых станциях железных дорог таким образом, чтобы обеспечить требуемые точности определения дислокации поездов. В составе локомотивной подсистемы СИР, представляющей собой интегрированный комплекс связи, навигации и обработки информации (ИКСНО), устанавливается высокоточная навигационная аппаратура потребителей (НАП), способная работать по спутниковым навигационным системам ГЛОНАСС/GPS, причем по системе ГЛОНАСС в двухчастотном режиме. Дифференциальные поправки, которые формируются контрольно-корректирующими станциями, сначала передаются на стационарную часть СИР в формате RTCM 104 версии 2.2, а затем на локомотивную НАП по цифровым радиоканалам СИР с сохранением формата данных RTCM. Использование контрольно-корректирующих станций ГЛОНАСС/GPS, передающих дифференциальные поправки в кодовом режиме, обеспечивает определение координат с погрешностями не более 2 м на границах зоны в 300 км от станции. На более близких расстояниях погрешности определения координат локомотива не превышают 1 м.

2. В зоне покрытия территории РФ международной системой OmniSTAR (или европейской системой EGNOS), обеспечивающей глобальную спутниковую сеть дифференциальных поправок, локомотивная подсистема СИР (ИКСНО) при необходимости дополнительно оборудуется специальными совмещенными приемниками GPS (в перспективе ГЛОНАСС/GPS), позволяющими одновременно принимать и обрабатывать навигационные сигналы и дифференциальные поправки соответствующих сервисов системы OmniSTAR (EGNOS). Все сервисы OmniSTAR обеспечивают погрешности определения координат не более 1 метра. Например, для сервиса OmniSTAR VBS (Virtual Base Station - виртуальная базовая станция), имеющего наименьшую точность из всех сервисов, точность для Европы составляет 60-70 см в плоскости, что вполне удовлетворяет требованиям к погрешностям навигационных определений в задаче управления движением поездов. Стоимость подписки на услуги дифференциальных сервисов OmniSTAR зависит от периода пользования поправками, региона и вида сервиса. Годовая подписка на сервис OmniSTAR VBS стоит от 800 \$, на сервис OmniSTAR HP (High Performance – высокая точность) от 1500 \$ (стоимость уточняется под конкретные требования). Подобное GPS оборудование выпускают компании: Trimble Navigation (США), Topcon (Япония), NovAtel (Канада), Sokkia (Япония), Raven Industries (США) и Hemisphere (Канада). На территории РФ эксклюзивным поставщиком оборудования и технологий под маркой OmniSTAR является ООО «Сварог» (г. Москва).

3. В состав локомотивной подсистемы СИР (рис. 2), помимо спутниковой НАП, также должны входить одометрическая и инерциальная навигационные системы, представляющие собой полноправные навигационные подсистемы ИКСНО. Результаты измерений одометра (датчика пройденного пути), инерциальных устройств и спутниковой НАП поступают в бортовую вычислительную систему ИКСНО, которая проводит их совместную обработку в соответствии с выбранными алгоритмами. Комплексование навигационных подсистем, работающих на разных физических принципах, повышает надежность и точность навигационных определений, что позволяет обеспечить координатное позиционирование подвижного состава с требуемой точностью и безопасное управление движением поездов даже в условиях кратковременного ухудшения (или отсутствия) сигналов ГЛОНАСС/GPS.

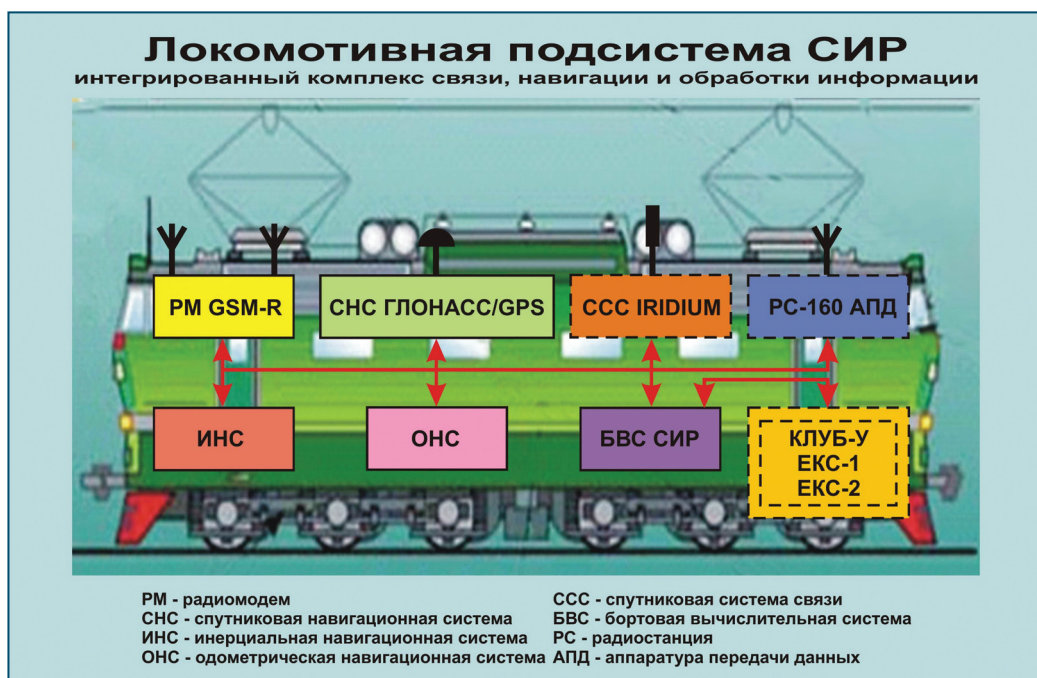


Рис. 2. Локомотивная подсистема СИР

Применение автономных навигационных систем совместно со спутниковой НАП позволяет достичь точности определения местоположения локомотива, соизмеримой с использованием дифференциальных поправок от контрольно-корректирующих станций ГЛОНАСС/GPS, что особенно важно с точки зрения повышения надежности управления движением подвижного состава.

Экспериментальное применение интегрированных навигационных комплексов в составе одометрического измерителя, инерциальной навигацион-

ной подсистемы и коммерческих вариантов спутниковых НАП (без режима дифференциальных поправок) показало возможность определения пройденного пути с точностью до 1 м.

Блок инерциальной навигационной подсистемы должен включать два блока трехосных акселерометров и гироскопов, сигналы которых могут проходить предварительную обработку в процессоре автономных навигационных систем совместно с сигналами от одометра.

Применение автономных навигационных систем помимо решения задач управления движением подвижного состава позволяет также контролировать параметры безопасности движения, а именно:

- ширину рельсовой колеи;
- продольный уклон пути;
- уровень (взаимное положение рельсовых нитей по высоте);
- просадку рельсовых нитей;
- параметры динамического взаимодействия локомотива и рельсового пути.

Изложенные выше принципы высокоточных навигационных определений в СИР на различных участках железных дорог предлагается реализовать следующим образом:

1. На всех участках железных дорог ОАО «РЖД» независимо от интенсивности движения предлагается развернуть сеть контрольно-корректирующих станций ГЛОНАСС/GPS, оптимизируя их размещение вдоль магистралей железных дорог для достижения минимального числа таких станций. На локомотивы предлагается устанавливать высокоточную НАП систем ГЛОНАСС/GPS, способную работать в дифференциальном режиме, принимая дифференциальные поправки в формате данных RTCM по цифровым радиоканалам СИР.

2. В зоне покрытия системы OmniSTAR (EGNOS) на высокоскоростных и ответственных участках, участках интенсивного движения предлагается использовать оба варианта организации высокоточных дифференциальных навигационных определений, при этом на локомотивах предусматривается установка двух комплектов НАП с объединением результатов их навигационных определений в единое решение методом весового (веса обратно пропорциональны погрешностям результатов) усреднения. Такая организация высокоточных навигационных определений обеспечивает не только высокую точность, но и двукратное резервирование, а следовательно, более высокую безопасность и наилучшую надежность управления движением поездов. На таких магистралях возможно также использование перспективных универсальных приемников НАП, которые, наряду с сигналами ГЛОНАСС/GPS и дифференциальными поправками системы OmniSTAR, позволят получать дифференциальные поправки контрольно-

корректирующих станций в формате данных RTCM по цифровым радиоканалам СИР.

В изделиях НТК ПИТ ОАО «Радиоавионика» используются модули НАП (далее — навигационные модули), позволяющие проводить высокоточные навигационные определения по глобальным спутниковым навигационным системам ГЛОНАСС/GPS как в абсолютном, так и в дифференциальном режимах. Эти модули предлагается устанавливать на локомотивах в составе локомотивной подсистемы СИР (бортового ИКСНО). Они обладают высоким уровнем защищенности от механических и климатических воздействий, без особых проблем могут быть адаптированы к требованиям установки оборудования на подвижном составе ОАО «РЖД», удовлетворяют соответствующим нормам безопасности.

Навигационные модули разработаны с учетом возможности применения в авиационной аппаратуре, могут размещаться на высокоскоростных локомотивах и способны работать со спутниковой навигационной системой ГЛОНАСС в двухчастотном режиме высокой точности. Погрешности определения координат навигационными модулями в абсолютном режиме не превышают 15 м, при использовании дифференциальных поправок от контрольно-корректирующих станций - до 1...1,5 м. Погрешности определения скорости движения локомотива не превышают 0,3 м/с. Комплексирование навигационных модулей с автономными локомотивными системами навигации (одометрической и инерциальной навигационными подсистемами ИКСНО) позволит дополнительно повысить надежность и точность навигационных определений, обеспечить безопасное управление движением поездов.

Для повышения надежности и точности навигационных определений в затененных для систем ГЛОНАСС/GPS местах (например, в тоннелях) предлагается дополнительно использовать дифференциальный навигационный режим на основе наземных псевдоспутников, обеспечивающих трансляцию навигационных сигналов в тоннелях.

Изложенные принципы организации высокоточной дифференциальной спутниковой навигации позволят достичь необходимых точностей координатного позиционирования подвижного состава в режиме реального времени, требуемых в задачах управления движением, что обеспечит надежное управление движением поездов и безопасность перевозок.

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ОАО «РЖД»



А.Ю. КАПЛИН

Генеральный
конструктор
ОАО «Радиоавионика»,
к.т.н.



М.Г. СТЕПАНОВ

Первый заместитель
директора НТК ПИТ
по научной работе,
д.т.н., профессор



В.В. ЕЛИШЕВ

Начальник отдела
НТЦ системотехники,
к.т.н., доцент

Рассматриваются принципы организации цифровой радиосвязи в задачах управления движением, обеспечивающие надежное управление движением подвижного состава и безопасность перевозок в ОАО «РЖД».

В ОАО «РЖД» накоплен богатый опыт использования различных систем радиосвязи для обеспечения радиотелефонии и передачи данных между стационарными и мобильными объектами в технологических процессах управления перевозками, обеспечения безопасности движения поездов, содержания инфраструктуры и подвижного состава железных дорог.

В настоящее время радиосредства железнодорожного транспорта используются для организации поездной, станционной и ремонтно-оперативной связи, а также для организации каналов передачи данных в различных информационно-управляющих системах железных дорог в рамках технологической радиосвязи ОАО «РЖД». Сеть радиосвязи ОАО «РЖД» является самой протяженной в РФ, технологической радиосвязью оборудовано более 80 тыс. км железных дорог. У технологической радиосвязи имеется ряд проблем:

- наличие большого количества устаревшего аналогового малоканального оборудования;

- высокая избыточность радиосредств при организации управления перевозками;
- несовершенство регламента радиосвязи, приводящее к избыточности переговоров и информационной перегрузке каналов и персонала;
- отсутствие избирательного вызова и возможности автоматической идентификации абонентов;
- несоответствие требованиям безопасности имеющихся каналов передачи данных;
- низкое качество связи и высокие затраты на содержание оборудования;
- ряд других проблем.

Также стоит отметить отсутствие у ОАО «РЖД» собственных полос частот для развития цифровых систем радиосвязи общепринятых железнодорожных стандартов, например, диапазона 900 МГц для систем GSM-R, а использование радиочастотных диапазонов на вторичной основе приводит к возможному блокированию радиоканалов другими радиоэлектронными средствами, что является недопустимым в системах управления и безопасности.

Специалисты ОАО «РЖД» понимают, что отсутствие современной цифровой сети радиосвязи ограничивает развитие технологий организации эксплуатации железных дорог, внедрение систем автоматического управления движением и безопасности, а следовательно, и увеличение пропускной способности железных дорог.

Создание КСАУД (комплексной системы автоматизированного управления движением), предлагаемой ОАО «Радиоавионика», невозможно без использования современной высокоскоростной помехозащищенной цифровой радиосвязи. Цифровая радиосвязь в системе интервального регулирования (СИР) КСАУД должна быть организована на следующих принципах (рис. 1):

1. В качестве основы цифровой радиосвязи в КСАУД должны быть использованы системы связи стандарта GSM-R. Такие системы позволяют эффективно решать весь комплекс задач, стоящих перед КСАУД, они имеют более высокие технические характеристики по сравнению с системой TETRA, в несколько раз меньшую стоимость развертывания, позволяют обеспечить совместимость с зарубежными системами цифровой радиосвязи железных дорог на основе GSM-R, что особенно важно при внедрении европейской системы управления и безопасности движения поездов ERTMS/ETCS и создании сквозных международных железнодорожных коридоров.

2. Для учета особенностей российских железных дорог предлагается реализовать в КСАУД двухканальную радиосвязь на основе GSM-R. Локомотивы необходимо оборудовать двумя равноправными модемами GSM-R. При

этом в радиоканале первого модема будет обеспечена полная совместимость с протоколами передачи данных ETCS, по другому модему будет осуществляться передача всей остальной информации, имеющей отечественную специфику.

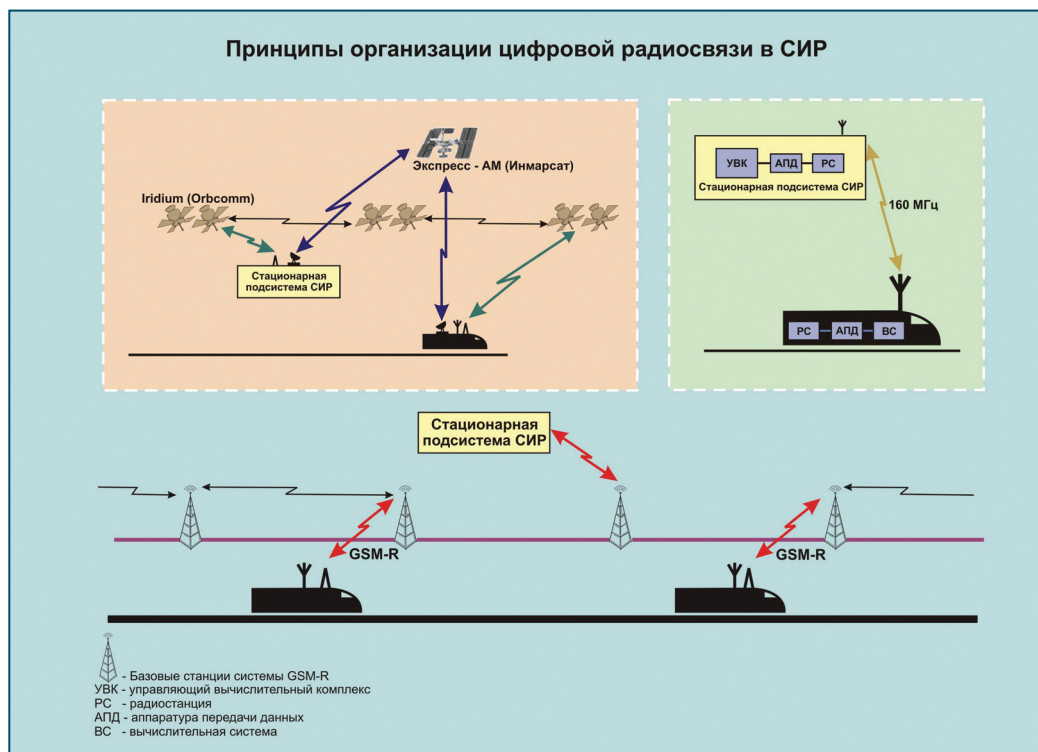


Рис.1. Принципы организации цифровой радиосвязи в СИР

3. На малодеятельных участках и в тех местах, где организация радиосвязи на основе GSM-R в ОАО «РЖД» не предусматривается, например, отсутствуют услуги провайдеров мобильной связи, предлагается развивать и внедрять современную цифровую спутниковую связь. Предлагается использовать как возможности отечественных систем космической связи на основе КА «Экспресс-АМ», «Глобус-1М», «Ямал», низкоорбитальной системы «Гонец», так и зарубежных систем мобильной связи «Инмарсат» (стандарт BGAN), «Orbcomm», «Iridium», «Globalstar». В ОАО «Радиоавионика» совместно с ФГУП «НПЦ «Вигстар» (г. Москва) ведется разработка мобильной станции спутниковой связи «Белозер-7», которую предлагается размещать на локомотивах. В нашей стране в ближайшие время будут предприняты шаги по радикальному развитию стационарной спутниковой связи на основе космических аппаратов типа «Глобус», «Экспресс» и «Ямал». К 2015 году планируется развернуть космическую группировку на основе спутни-

ков связи «Глобус-1М» в количестве 7 спутников, что обеспечит полное покрытие спутниковой связью всей территории РФ.

Стоит заметить, что внедрения систем связи стандарта GSM-R не произойдет в ближайшем будущем на всем пространстве российских железных дорог, этот процесс весьма дорогостоящий и длительный. Поэтому необходимо быть готовым и к широкому использованию уже имеющихся в ОАО «РЖД» систем связи, с целью их адаптации для задач КСАУД. В то же время, перспективным направлением является широкое внедрение высокоскоростной цифровой радиосвязи с высокой помехозащищенностью и гарантированной стойкостью с использованием пакетных методов передачи и (или) современных сигнально-кодовых конструкций, прежде всего с использованием помехоустойчивых кодов с высокими характеристиками по обнаружению и исправлению ошибок (каскадных кодов, кодов Рида-Соломона, сверточных кодов и др.).

В ОАО «Радиоавионика» накоплен немалый опыт по разработке, внедрению и сопровождению современных цифровых каналов радиосвязи в составе комплекса разведки, управления и связи «Стрелец» для общевойсковых подразделений и подразделений войсковой разведки, принятого на снабжение Вооруженных сил РФ. Так, в комплексе «Стрелец» используются различные цифровые каналы радиосвязи:

- широкополосный радиодоступ с пакетной передачей данных, дополненный возможностью передачи качественной речи, на основе стандарта Wi-Fi (аналогичные радиоканалы предлагается использовать и в малом комплексе железнодорожника, их можно достаточно просто дополнить носимыми модулями стандарта GSM-R);
- помехозащищенные цифровые радиоканалы УКВ диапазона в тактическом звене управления с возможностью передачи данных и речи на расстоянии до 15 км (аналогичные радиоканалы предлагается использовать и в малом комплексе железнодорожника в диапазоне 160 МГц);
- помехозащищенные спутниковые цифровые радиоканалы, позволяющие передавать данные на значительные расстояния через геостационарные спутники связи.

Все перечисленные радиоканалы позволяют обеспечить гарантированную стойкость при использовании соответствующей аппаратуры передачи данных.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ РАДИОЭЛЕКТРОННЫМИ УЗЛАМИ НОСИМОЙ И МОБИЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ



С.Н. ПОПОВ

*Заместитель директора
НТК ПИТ по системотехнике
ОАО «Радиоавионика»,
к.т.н.*



В.В. МОИСЕЕВ

*Начальник кафедры
технической кибернетики
Военно-космической академии
имени А.Ф. Можайского, к.т.н.*

В статье в краткой форме приводятся результаты анализа вариантов реализации последовательного обмена данными между компонентами, узлами, подсистемами аппаратуры различного назначения. Основной акцент сделан на аппаратуру компактного исполнения. Сделан вывод о предпочтительности использования некоторых типов последовательных интерфейсов.

В ряде сфер деятельности имеют место задачи, носящие локальный характер и требующие оперативного решения. При этом привлекаемые силы и средства, как правило, невелики. Существенные прорывы в микроэлектронике и в сопредельных областях сделали возможным формирование класса компактной носимой и мобильной аппаратуры, разработанной именно для решения задач такого типа. Аппаратура представляет собой совокупность вычислительных и управляющих средств, объектов управления, средств телекоммуникации, плюс современные информационные технологии.

Под терминами «носимая» и «мобильная» в данном контексте следует понимать примерно одни и те же реализации аппаратуры и программного обеспечения, а отличия могут быть связаны с наличием или отсутствием транспортных средств. Понятно, что в последнем случае имеются более существенные возможности для резервирования и реконфигурирования. Становятся менее критичными массогабаритные ограничения.

Целью статьи не является полная аргументация тех или иных структурных или схемотехнических решений. Однако представляемые соображения есть результат анализа некоторых примеров подобных систем.

Абстрагируясь от конкретной целевой задачи, в состав аппаратуры необходимо включить вычислительное устройство. Это может быть однопроцессорный вариант, это может быть вычислительный комплекс в виде многопроцессорного (МНП) или многомашинного (ММ) комплекса. Дифференциация комплексов имеет существенное значение, поскольку, с одной стороны, усложнится программное обеспечение, с другой – появится упомянутая возможность резервирования и реконфигурирования. Следует отметить, что основным требованием вряд ли является производительность в плане вычислений. Она просто должна быть достаточной. Основное требование – это надежное взаимодействие с узлами аппаратуры, управление этими узлами. И в обязательном порядке должны поддерживаться следующие функции:

- заблаговременная подготовка, подразумевающая ввод необходимых исходных данных, критических обновлений программного обеспечения;
- контроль и диагностика состояния узлов и подсистем, которые должны осуществляться непрерывно с момента включения и до выключения;
- прием, ввод, обработка информации, касающейся особенностей выполнения конкретной задачи;
- собственно выполнение задачи;
- обработка информации после выполнения задачи, ее документирование и архивирование при необходимости;
- предотвращение несанкционированного доступа к информации;
- наконец, возможна автоматизация выполнения мероприятий технической эксплуатации (ведение документации, создание системы интеллектуальной поддержки и т.п.).

Достаточно трудно расставить весовые коэффициенты в плане перечисленной функциональности, но необходимо рассмотреть вопросы организации вычислительного или управляющего сегмента и информационного обмена с узлами аппаратуры, выступающими в качестве объектов управления.

На современном этапе представляется перспективным следующий вариант построения аппаратуры (см. рис. 1). Вычислительный (управляющий) сегмент строится как МНП или ММ комплекс, т.е. условно представляет совокупность микропроцессорных систем (МПС). Важным элементом является среда межпроцессорного (межмашинного) обмена. Возможны различные способы организации этого обмена, но на верхнем уровне иерархии между вычислительными узлами наиболее предпочтительны сетевые технологии. Напрашивается та или иная реализация Ethernet, хотя есть примеры других оригинальных способов организации обмена.

Особое место занимает сегмент, обозначенный на рисунке как СК/УСО – специализированные контроллеры / устройства связи с объектами управления. Именно здесь проявляется особая специфика, что, собственно, объясняется особенностями объектов управления. Фактически осуществляется управление конкретными физическими процессами, например, это задачи управления из областей газо- и гидродинамики, сервоприводы, исполнительные элементы радиоэлектронной аппаратуры и пр. Специализированные контроллеры содержат традиционные функциональные узлы, как-то: служебные регистры и регистры данных, селекторы адреса, логику (ядро) реализации интерфейсных циклов. Однако для взаимодействия с объектами управления необходима специальная или преобразовательная часть. Не менее важна электрическая часть. Объекты управления могут находиться в непосредственной близости от вычислительного сегмента, буквально в пределах достаточно небольшого конструктива. Но удаленность может быть и более, например, единицы – десятки метров. Таким образом, выделяется понятие коммуникационной среды или сети взаимодействия вычислительного сегмента и объектов управления. В принципе, обозначенные устройства связи также можно отнести к коммуникационной среде. Но резонен вопрос о выборе стандартизованного интерфейса.

Рис. 1. Вариант построения радиоэлектронной аппаратуры

- невозможность организации обмена на расстоянии более единиц метров;
- проблемы информационного объединения выходов интегральных схем, играющих роль передатчиков (необходимость буферирования);
- сравнительно низкая помехозащищенность. Данный фактор можно исключить, например, используя витые пары, «токовую петлю» и т.п. Однако аппаратные затраты возрастут несоизмеримо.

Также нужно добавить, что скорость обмена, достигаемая при параллельном обмене данными, для широкого круга задач оказывается неостребованной.

Существует ряд последовательных интерфейсов, которые вполне удовлетворяют требованиям по скорости обмена, но отличаются по специфике реализации на электрическом и логических уровнях. Предназначение интерфейсов также различно.

Известные интерфейсы типа USB, IEEE 1394 в данном случае вряд ли применимы. Во-первых, по своему назначению они предназначены, если можно так выразиться, для персонализации компьютера, т.е. создания комфорта для человека, для работы с мультимедийными приложениями. Во-вторых, есть некоторые особенности системного плана.

Сетевой способ обмена приемлем, но вопрос заключается опять же в выборе интерфейса. Предположим, что принимается какой-то из вариантов Ethernet. Тогда необходимо учесть, что использование данной технологии ассоциируется с определенным протоколом или набором протоколов. Это означает, что объекты управления, т.е. узлы аппаратуры, должны быть достаточно интеллектуальными, чтобы поддерживать эти протоколы. Конечно, есть определенная номенклатура микроконтроллеров, имеющих сетевой интерфейс. Есть готовые так называемые мосты, которые трансформируют протоколы, принятые для сетей Ethernet, до уровня старт-стопного побайтового обмена. Однако здесь также встает вопрос о цене.

Известна другая группа последовательных интерфейсов. Это двухточечное соединение типа RS232, RS422. Соединение типа «точка-точка» для решения задач управления многочисленными объектами не подходит. С другой стороны, есть сферы деятельности, где очень успешно применяется сетевой вариант RS485. Скорость обмена вполне достаточна. При реализации подобного обмена с помощью микроконтроллеров она может составить до 1 Мбит/с. Кроме того, есть вариант обмена не 5/6/7/8 битами, а девятью, что достаточно интересно.

Есть еще один аспект для обсуждения. Интерфейс RS485 может объединять (согласно спецификации) до 32/64 устройств. Этого вполне достаточно для компактной аппаратуры. Но если речь идет о взаимодействии на уровне, например, одной печатной платы, то есть интерфейс I2C, на основе которого можно легко реализовать обмен на уровне отдельных больших интегральных схем.

Таким образом, думается, что два последних из указанных интерфейсов — RS485, I2C – достаточно актуальны.

УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКА ДИСКРЕТНО-АДРЕСНОГО ВТОРИЧНОГО РАДИОЛОКАТОРА



А.В. ВЕРЕЩАГИН
к.т.н., зам. директора
НТЦ ПП НТК ПИТ
ОАО «Радиоавионика»



М.Ю. ЧЕРЕПОВ
Начальник НИС,
ОАО «ВНИИРА»



А.В. КОТОВ
Начальник НИС,
ОАО «ВНИИРА»



В.В. ШИФРИН
Начальник НТО
ОАО «ВНИИРА»,
гл. конструктор

Рассматриваются вопросы создания полупроводникового усилителя мощности передатчика перспективного дискретно-адресного вторичного радиолокатора. Особое внимание уделяется разработке активных цепей усилителя на основе LDMOS-транзисторов L-диапазона. Кратко освещены вопросы каскадирования и объединения мощности при параллельном включении выходных транзисторов. Приведены основные достигнутые технические характеристики усилителя.

В настоящее время в соответствии с решениями Международной организации Гражданской авиации (ICAO) проводится широкомасштабное развертывание перспективных дискретно-адресных систем вторичной радиолокации (ДАС ВР) [1,2]. ДАС ВР является комбинированной системой радиоуправления, наблюдения и передачи данных, используемой в целях автоматизированного управления воздушным движением (УВД) [3]. Принципиальным отличием ДАС ВР с индивидуальным адресным (селективным) запросом от существующих систем RBS (Radar Beacon System) является возможность запроса как всех воздушных судов (ВС), находящихся в зоне действия вторичного радиолокатора (ВРЛ) (так называемый запрос общего вызова), так и индивидуально конкретного ВС (запрос в режиме S – от англ. «selective» – избирательный). Помимо существенного снижения уровня внутрисистемных помех, ДАС ВР позволяет распределить запросы по времени с целью исключения случаев наложения ответных сигналов близкорасположенных ВС, а также обеспечивает возможность автоматизированного обмена командами и текущей информацией между системами УВД и ВС [4,5].

1. Принцип адресного запроса ВС

Для реализации адресного запроса каждому ВС, оборудованному адресным ответчиком, присваивается уникальный постоянный 24-битный адрес, включаемый во все запросные и ответные кодовые сообщения, а ВРЛ ведет список (регистр) данных идентификации и координат ВС, наблюдаемых в своей зоне действия. Для того, чтобы ВС мог быть запрошен, он должен сопровождаться ВРЛ. Для первоначального обнаружения ВС с адресными ответчиками каждый ВРЛ периодически посылает запросы общего вызова, на которые такие ВС отправляют ответное сообщение со своим адресом. Кроме того, запросы общего вызова позволяют обеспечить запрос безадресных ответчиков. Характерным признаком запроса общего вызова по сравнению с запросом существующей безадресной системы RBS является наличие дополнительного импульса P4. При его наличии адресный ответчик формирует адресный ответ, при отсутствии – работает как обычный ответчик RBS. Для исключения запуска ответчиков от запросов, поступающих по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны (ДНА) радиолокатора, используется канал подавления боковых лепестков [2,5] с отдельной антенной.

Передача высокочастотных (ВЧ) сигналов запроса и ответа в ДАС ВР осуществляется на тех же частотах (1030 и 1090 МГц соответственно), что и в существующей системе RBS.

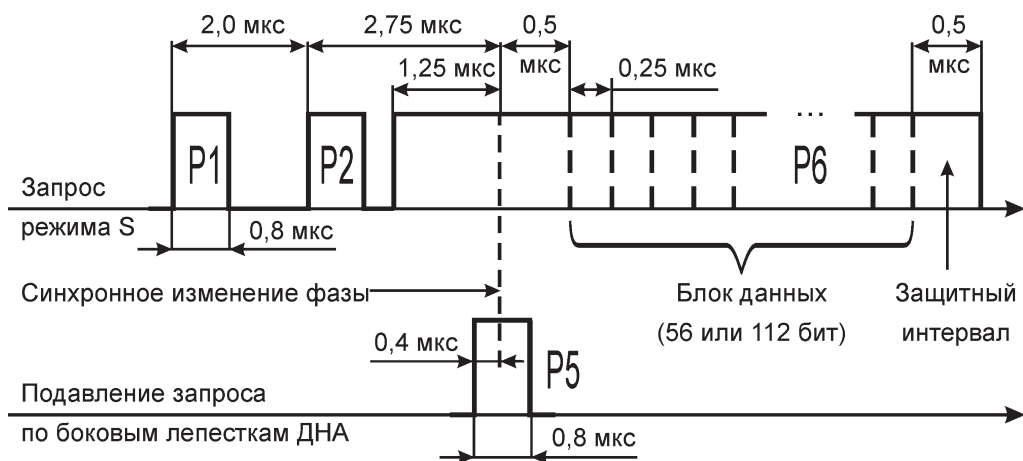


Рисунок 1 - Структура сигналов запроса режима S

Формат адресного запроса (рисунок 1) состоит из ключа (импульсы P1 и P2) и блока данных (импульс P6). Ключ вызывает запуск ответчиков существующей системы RBS на (35 ± 10) мкс, что предупреждает их несанкционированное срабатывание. Для передачи блока данных, содержащего 56 или 112 бит (режим Extended Length Message, ELM), используется кодоимпульсная относительная фазовая манипуляция (КИМ-ОФМ, PCM-DPSK)

несущей при скорости передачи данных 4 Мбит/с. Первое изменение фазы в импульсе Р6 является опорным. Сигнал подавления боковых лепестков (импульс Р5) центрируется относительно момента опорного изменения фазы в импульсе Р6. Появление импульса Р5 при достаточной амплитуде затеняет опорное изменение фазы в адресном ответчике, в результате чего информация блока данных не декодируется.

2. Особенности построения передатчика ВРЛ

Рассмотрим особенности построения передатчика ДАС ВРЛ, состав которого приведен на рисунке 2.

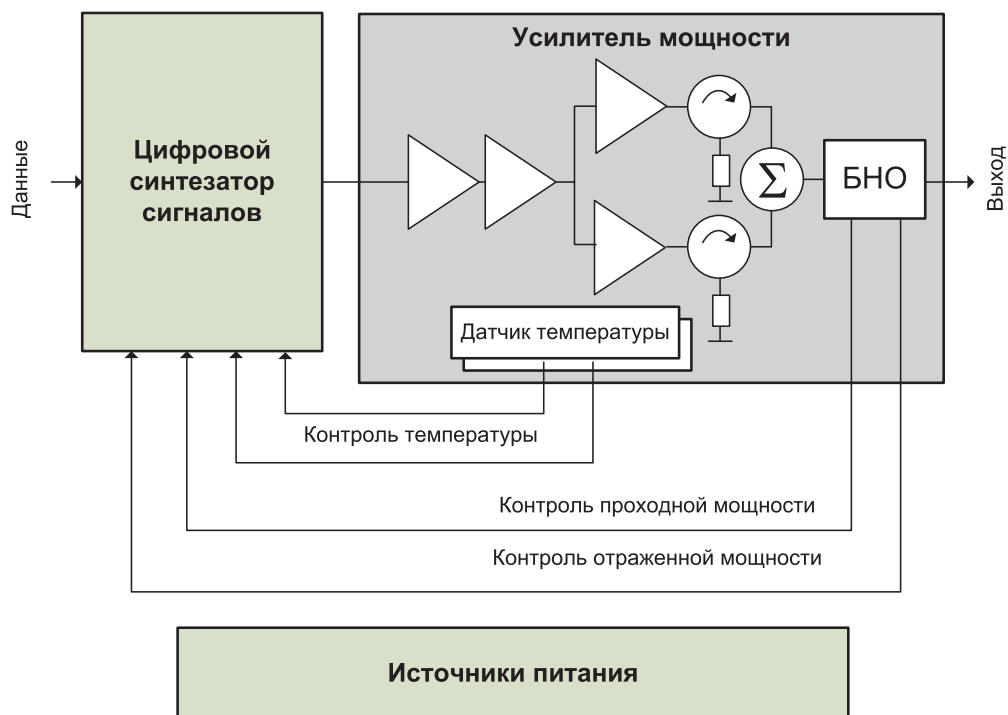


Рисунок 2 – Структурная схема передатчика ДАС ВРЛ

Предварительная проработка различных вариантов построения передатчика ДАС ВРЛ показала, что целесообразно, исходя из жестких требований к стабильности несущей частоты сигнала запроса, крутизне фронтов и длительности импульсов, формировать ВЧ сигналы с требуемой кодовой структурой импульсов и, при необходимости, фазовой манипуляцией на низком уровне мощности, а затем усилить их до необходимого уровня. Поэтому ВЧ сигналы формируются блоком цифрового синтезатора сигналов, содержащим устройство управления на ПЛИС и возбудитель. Возбудитель построен на основе современных скоростных цифроаналоговых преобразо-

вателей, интегральных схем ФАПЧ и квадратурных смесителей с низкими собственными шумами, формирующих высокостабильные ВЧ колебания с заданными фазовыми характеристиками и формой огибающей, соответствующими заданным требованиям [1].

Дальнейшее усиление ВЧ сигналов до необходимого уровня производится в усилителе мощности (УМ). Большинство УМ передатчиков современных радиолокаторов наземного и бортового применения используют полупроводниковую элементную базу [7,8]. При этом усилители выполняются в виде нескольких параллельно работающих каналов, мощности которых складываются в ВЧ сумматорах мостового типа (М) (рисунок 3).

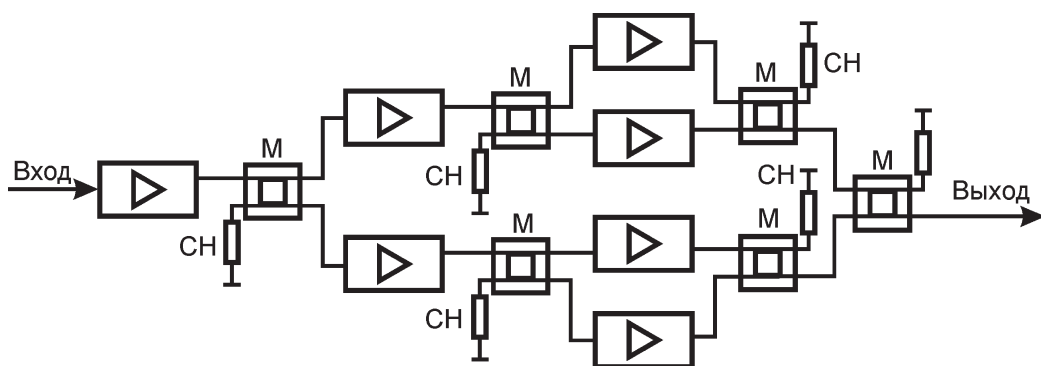


Рисунок 3 - Структура полупроводникового УМ передатчика ВРЛ

Аналогичный принцип построения реализован в передатчике серийного моноимпульсного ВРЛ «Аврора» [9]. Основой выходных усилительных каскадов каналов передатчика являются мощные биполярные транзисторы (БПТ), эффективно работающие в существенно нелинейных режимах с отсечкой коллекторного тока с целью повышения КПД и выходной мощности. Однако ключевой режим работы мощных БПТ не позволяет регулировать амплитуды сигналов каналов, поэтому изменение мощности выходного сигнала передатчика ВРЛ осуществляется с помощью регулируемого аттенюатора на выходе УМ. Кроме того, несовпадение временного положения импульсных сигналов каналов запроса и подавления позволяет использовать один УМ для каналов запроса и подавления с быстрой коммутацией сигналов. Недостатком подобной архитектуры является необходимость постоянного формирования ВЧ сигнала большой мощности с последующим подавлением его до заданного уровня, т.е. снижение КПД. Наличие большого числа последовательно включенных мостовых делителей/сумматоров, защитных ферритовых вентилей (циркуляторов), а также паразитные потери в управляемом аттенюаторе и перекрестном коммутаторе приводят к значительным суммарным активным потерям. Использование отсечки тока приводит к формированию импульсно

модулированных радиосигналов с крутым спадом огибающей и, как следствие, к недопустимому расширению их спектра.

Эффективным решением указанных проблем явилось использование в УМ передатчика режима S для ВПЛ «Аврора» полевых транзисторов, изготовленных по LDMOS-технологии. Они обладают множеством достоинств: имеют меньший коэффициент шума и больший коэффициент усиления, чем БПТ; благодаря большому динамическому диапазону (более 30 дБ) позволяют регулировать выходную мощность за счет изменения входного сигнала; отличаются высокой термостабильностью, обусловленной технологией изготовления. LDMOS-кристаллы монтируются непосредственно на теплоотводящий фланец, что обеспечивает уменьшение входной индуктивности и теплового сопротивления транзистора.

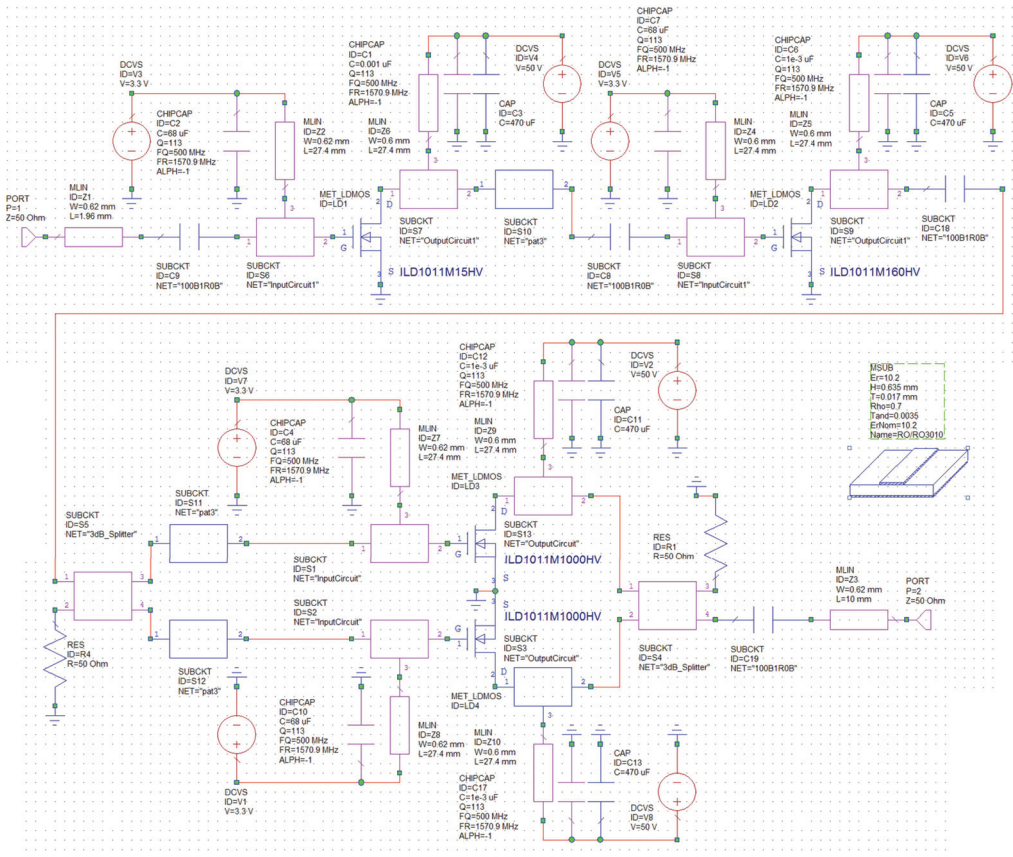


Рисунок 4 - Модель УМ на транзисторах фирмы Integra Technologies (США)

3. Моделирование и разработка конструкции опытного образца УМ

Для предварительной оценки характеристик многокаскадного УМ на LDMOS-транзисторах L-диапазона разработана модель и выполнено мо-

делирование в среде разработки СВЧ-устройств AWR Microwave Office. При разработке модели (рисунок 4) использованы топологии согласующих цепей, рекомендуемые изготовителем транзисторов. В качестве модели LDMOS-транзистора использована модель MET_LDMOS, разработанная специалистами фирмы «Freescale Semiconductor» (США), в которой учтены параметры используемых транзисторов.

Целью моделирования явилась предварительная оценка значений КСВ и коэффициента усиления УМ. В результате установлено, что КСВ по входу и выходу схемы не превышает 1,3, а коэффициент усиления на частоте 1030 МГц достигает величины 32 дБ, что позволяет гарантированно выполнить требования, предъявляемые к передатчику режима S для моноимпульсного ВРЛ «Аврора». С учетом результатов моделирования разработана конструкция опытных образцов УМ и передатчика ДАС ВРЛ в целом (рисунок 5).

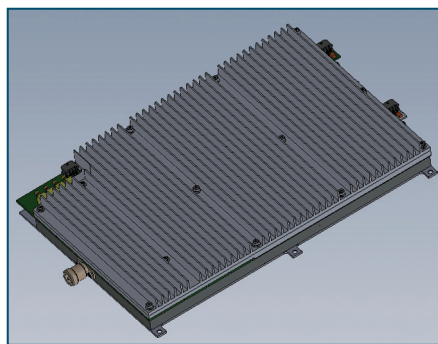
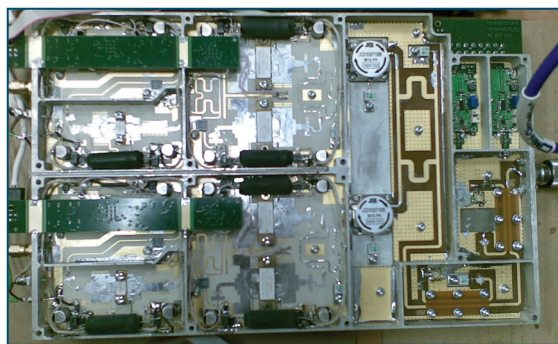


Рисунок 5 – Внешний вид прототипа печатного узла и блока УМ радиолокатора

Результаты лабораторных измерений и испытаний с использованием комплекта контрольно-измерительной аппаратуры фирмы «Rohde & Schwarz» (Германия) подтвердили правильность принятых технических решений (рисунок 6).

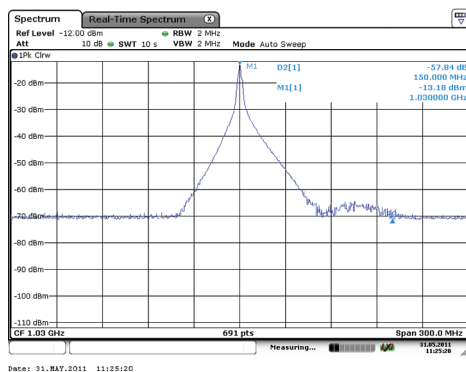
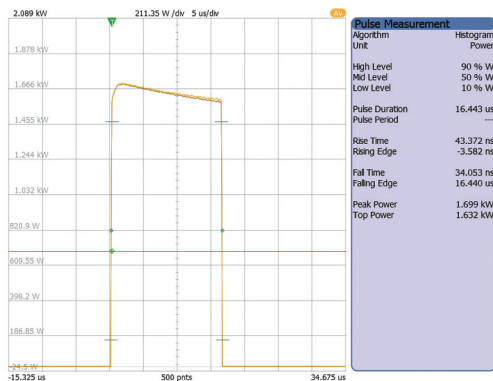


Рисунок 6 – Огибающие сигнала и его спектра на выходе УМ

Выводы

1. Благодаря принятым техническим решениям создан усилитель мощности передатчика ДАС ВРЛ со следующими техническими характеристиками:

- максимальная выходная ВЧ импульсная мощность, дБВт, не менее .. 32;
- диапазон регулирования выходной мощности, дБ, не менее 12;
- точность регулирования выходной мощности, дБ, не хуже ± 1 ;
- вид модуляции сигналов. амплитудная (импульсная) и фазовая;
- длительность ВЧ импульсов, мкс $0,8 \pm 0,1$; $1,6 \pm 0,1$; $16,25 \pm 0,25$;
- потребляемая мощность, Вт, не более 140;
- габаритные размеры, мм $355 \times 218 \times 37$;
- масса, кг, не более 10.

Для контроля и защиты УМ от рассогласования с нагрузкой (обрыва или КЗ в фидере, антенне) применяются ферритовые циркуляторы и измеритель КСВ.

2. На основе разработанной конструкции представляется целесообразным создать модификации УМ для передатчика ВРЛ, не поддерживающего адресный режим работы, а также для передатчика ДАС ВРЛ с режимом Extended length message (S-ELM).

Литература:

1. Конвенция о международной гражданской авиации. Приложение 10 «Авиационная электросвязь». Т.4 «Системы наблюдения и предотвращения столкновений» (Издание 4-е, июль 2007 г.).
2. Руководство по вторичным обзорным радиолокационным (ВОРЛ) системам: Документ ИКАО Doc-9684. Издание 3-е. 2004.
3. Александров В.П., Пасечный А.Г., Хорунжий С.Г. Особенности построения устройств управления воздушным движением по сигналам дискретно-адресной системы вторичной радиолокации // Радиоконтроль, вып.8, 2005, с. 115-124.
4. ГОСТ Р 51845-2001. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Общие технические условия.
5. Радиолокационное оборудование автоматизированных систем управления воздушным движением /Под ред. А.А. Кузнецова. – М.: Транспорт, 1995. – 344 с.
6. Аронов В.Л., Евстигнеев А.А., Евстигнеев А.С. Транзисторные передающие модули L- и S-диапазонов. // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, №4, 2005. – С. 30-32.
7. Каганов В.И. СВЧ полупроводниковые передатчики. – М.: Радио и связь, 1981. – 400 с.
8. Малышев В.А. Бортовые активные устройства сверхвысоких частот. – Л.: Судостроение, 1990. – 264 с.
9. Комплекс средств навигации, посадки и управления воздушным движением: Доклад / Король В.М., Велькович М.А., Иванов В.П. и др. //Международная конференция «Восстановление региональной и малой авиации России – стратегическая задача национальной политики», Международный салон гражданской авиации и воздухоплавания «ИнтерАэроКом», Санкт-Петербург, 12-15.08.2010 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ВРАЩЕНИЯ



А.А. ТАРАСЕНКОВ

Ведущий специалист ТЦ
систем электропитания ОАО
«Радиоавионика»



В.Н. ФЕНОГА

Доцент ГУАП, к.т.н.

Для осуществления контроля пространственного положения летательного аппарата по измерениям вектора магнитного поля земли (ВМПЗ) необходимо на каждом цикле измерения определить разность между измеренными магнитометром координатами ВМПЗ $\vec{H}_{3\text{мми}}$ и вычисленными в инерциальном канале координатами $\vec{H}_{3\text{выч}}$ [2]. Ввиду того, что инерциальные измерители обладают накапливающейся во времени ошибкой, то вектор $\Delta\vec{H}_3$ в общем случае не будет равняться нулю, рисунок 1.

$$\Delta\vec{H}_3 = \vec{H}_{3\text{мми}} - \vec{H}_{3\text{выч}} = [\Delta H_{3X} \quad \Delta H_{3Y} \quad \Delta H_{3Z}]^T \quad (1)$$

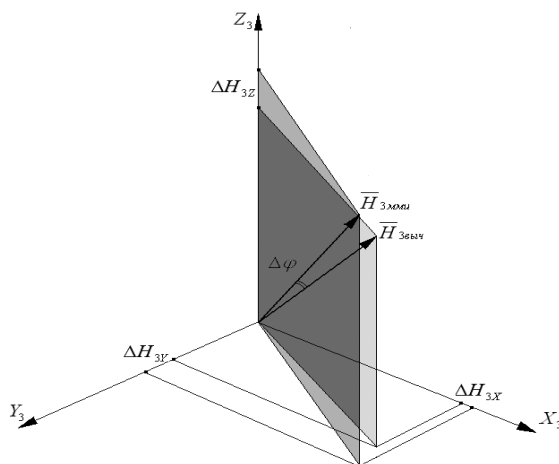


Рис. 1 Рассогласование векторов

Таким образом, для компенсации ошибки интегрирования инерциального канала необходимо, имея информацию о $\Delta \bar{H}_3$ и разрешив обратную задачу вращения [1], оценить вектор приращений углов пространственной ориентации:

$$C = [\delta\gamma \quad \delta\vartheta \quad \delta\psi]^T, \text{ где (2)}$$

$\delta\gamma$ – ошибка в канале крена, $\delta\vartheta$ – ошибка в канале тангажа, $\delta\psi$ – ошибка в канале курса.

Однако, как было показано в [1], аналитически решить такую задачу не представляется возможным ввиду необратимости кинематических уравнений вращения. Для того чтобы обойти аналитическую неразрешимость, была предпринята попытка применить экстремальные поисковые методы решения. [5] В данном случае на каждом цикле реализуется система кинематических уравнений общего поворота (2) таким образом, чтобы привести к минимуму рассогласование векторов (3).

$$\bar{H}_3 = A \cdot \bar{H}_0, \text{ где (3)}$$

A – матрица общего поворота, элементы которой являются функциями углов ориентации ($A = A(\bar{C})$), H_0 – начальное положение вектора.

Подход к решению задачи поисковым методом заключается в том, что экстремальная система выполняет последовательные шаги, изменяя вектор \bar{C} таким образом, чтобы привести к минимуму модуль вектора рассогласования $\Delta \bar{H}_3$. Другими словами система «поворачивает» $\bar{H}_{3\text{выч}}$ до совмещения его с $\bar{H}_{3\text{мми}}$ и выполнения условия (4) (см. рис. 1).

$$|\bar{H}_{3\text{мми}} - A(\bar{C}_{\text{опт}}) \cdot \bar{H}_{3\text{выч}}| = \min \left(\sqrt{(\Delta \bar{H}_3)^2} \right), \text{ где (4)}$$

$$\bar{C}_{\text{опт}} = [\delta\hat{\gamma} \quad \delta\hat{\vartheta} \quad \delta\hat{\psi}]^T$$

$A(\bar{C})$ – матрица направляющих косинусов с Эйлеровыми углами $\delta\gamma$, $\delta\vartheta$, $\delta\psi$; $\bar{C}_{\text{опт}}$ – оптимальная по критерию минимума модуля вектора $\Delta \bar{H}_3$ оценка приращений углов пространственной ориентации.

Для наглядности представим зависимость модуля вектора рассогласования от одного из углов ориентации (к примеру, угла крена) в виде годографа, рис. 2. Из рисунка видно, что на годографе имеет место четкий минимум, соответствующий углу крена, заданному при моделировании. Зависимость $\Delta \bar{H}_3$ от углов тангажа и рысканья имеет такой же вид.

Чтобы отыскать $\bar{C}_{\text{опт}}$, удовлетворяющий условию (4), обратимся к теории оптимизации [3]. Ввиду того, что необходимо оптимизировать три

переменные по одному критерию, осуществим декомпозицию задачи и поиск минимума будем проводить по каждой переменной отдельно, считая остальные переменные константами [2].

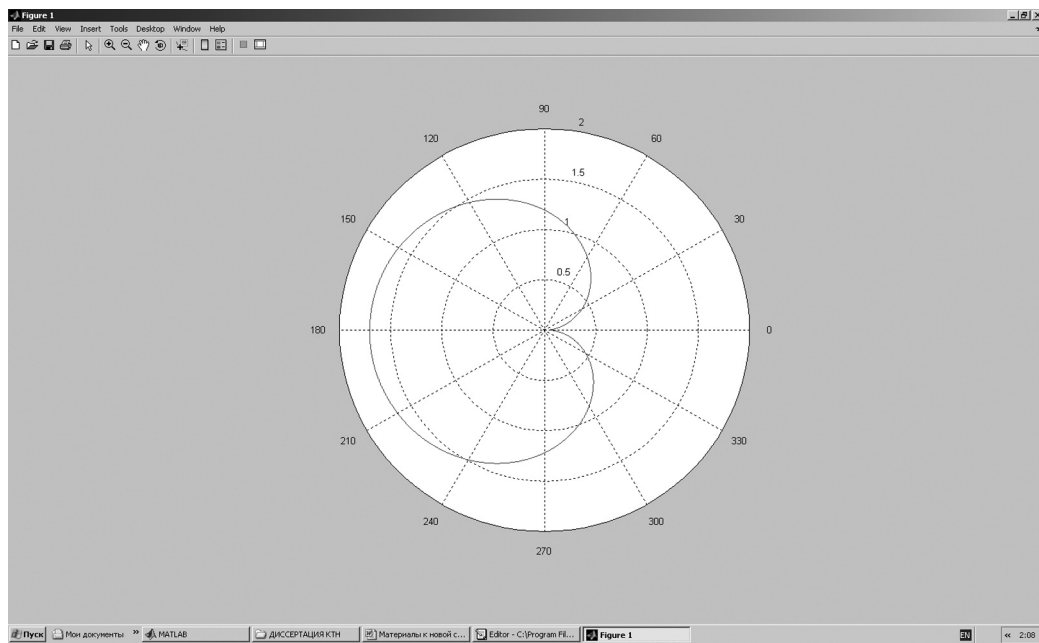


Рис. 2. Зависимость модуля вектора рассогласования от угла крена
(Условия моделирования: $\gamma=2$; $\vartheta=3$; $\psi=1$)

Так как в рассматриваемой задаче практически нет возможности определить функционал качества в явной форме, воспользуемся поисковыми методами [4]. Осуществим следующую замену:

$$J(\bar{C}) = |\Delta \bar{H}_3| = |\bar{H}_{3\text{мми}} - A(\bar{C}) \cdot \bar{H}_{3\text{выч}}|, \text{ где (5)}$$

$J(\bar{C})$ – функционал качества. Тогда:

$$\nabla J(\bar{C}) = \left(\frac{\partial J(\bar{C})}{\partial \delta\gamma} \quad \frac{\partial J(\bar{C})}{\partial \delta\vartheta} \quad \frac{\partial J(\bar{C})}{\partial \delta\psi} \right) \quad (6)$$

Таким образом, в общем виде итерационный алгоритм поиска минимума функционала качества будет выглядеть следующим образом [3]:

$$\bar{C}_n = \bar{C}_{n-1} - \Gamma_n \cdot \nabla J(\bar{C}_{n-1}), \text{ где (7)}$$

Γ_n – функция, определяющая величину очередного шага.

Если из выражения (7) исключить функционал $\nabla J(\bar{C}_{n-1})$, а $\Gamma_n = \text{const}$, то мы получим алгоритм простого перебора.

Очевидно, что применять его в многомерном случае крайне затруднительно из-за неоправданно большого объема вычислений.

Другой разновидностью алгоритма (7) является градиентный алгоритм с постоянной величиной шага [3]. Он значительно сокращает количество шагов поиска по сравнению с простым перебором, однако объем вычислений по-прежнему велик, т. к. скорость движения к точке оптимума постоянна.

Существенно сократить время поиска и объем вычислений позволяют алгоритмы с переменной величиной шага. В таких алгоритмах Γ_n является некоторой функцией шага. Таких алгоритмов существует большое количество и отличаются они выбором функции Γ_n .

Для решения поставленной задачи автором была выбрана следующая функция шага:

$$\Gamma_n = \frac{D}{(n + 1) \cdot \sqrt{(\nabla J(\bar{C}_{n-1}))^2}}, \text{ где (8)}$$

D – диапазон поиска угла. Для данной задачи было принято $D = 10^\circ$. В результате получился довольно простой и эффективный алгоритм последовательных приближений, обеспечивающий быстрый поиск экстремума с любой заданной степенью точности. Работа данного алгоритма была промоделирована средствами MATLAB R2006 [6] и представлена на рисунках 3-5.

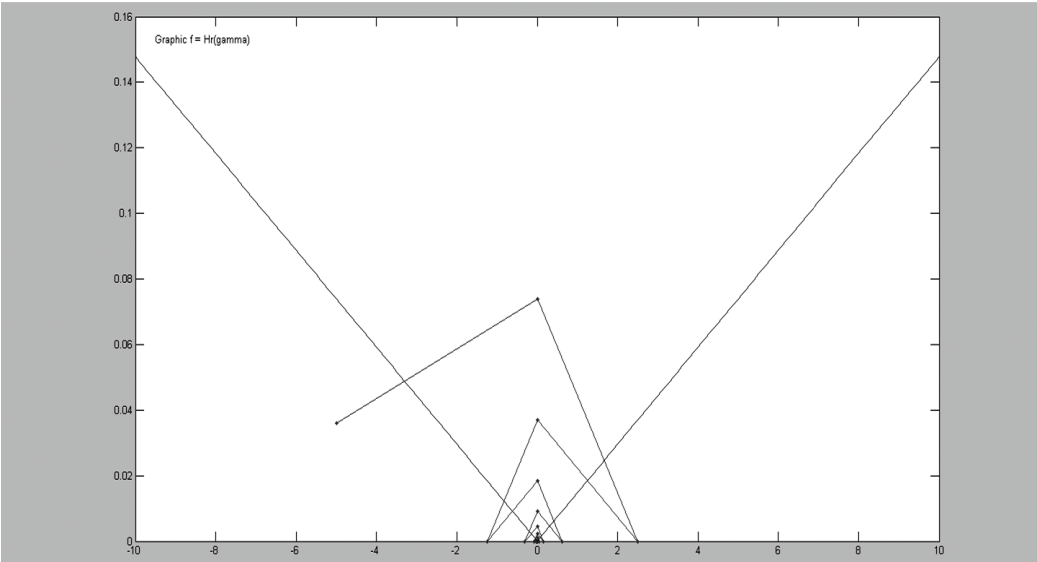


Рис.3 Траектория поиска угла крена (Условия моделирования: $\gamma=0^\circ$)

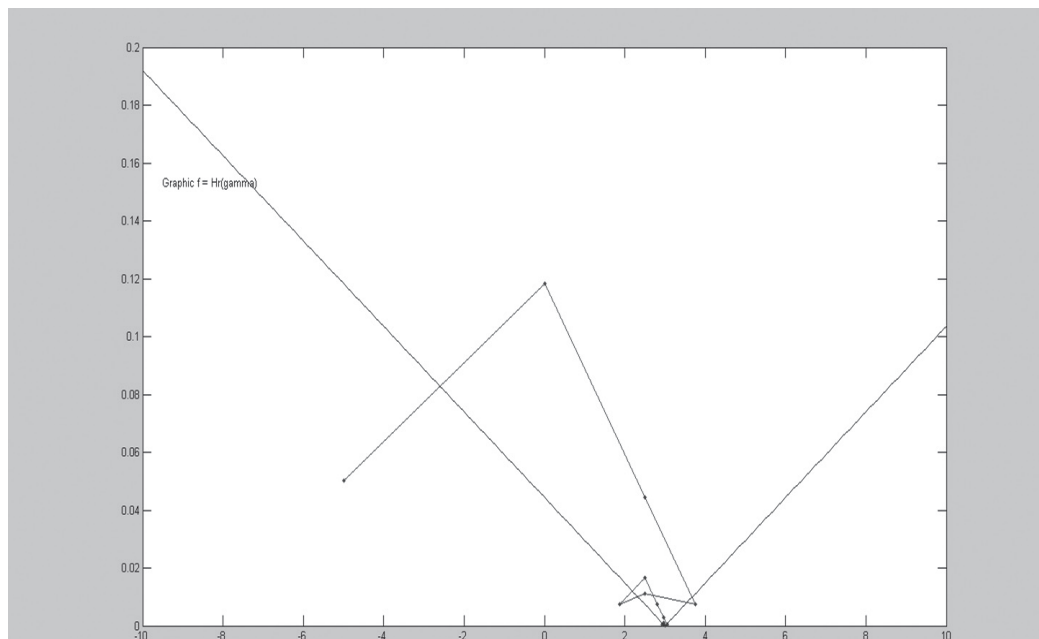


Рис. 4 Траектория поиска угла крена (Условия моделирования: $\gamma=3^\circ$)

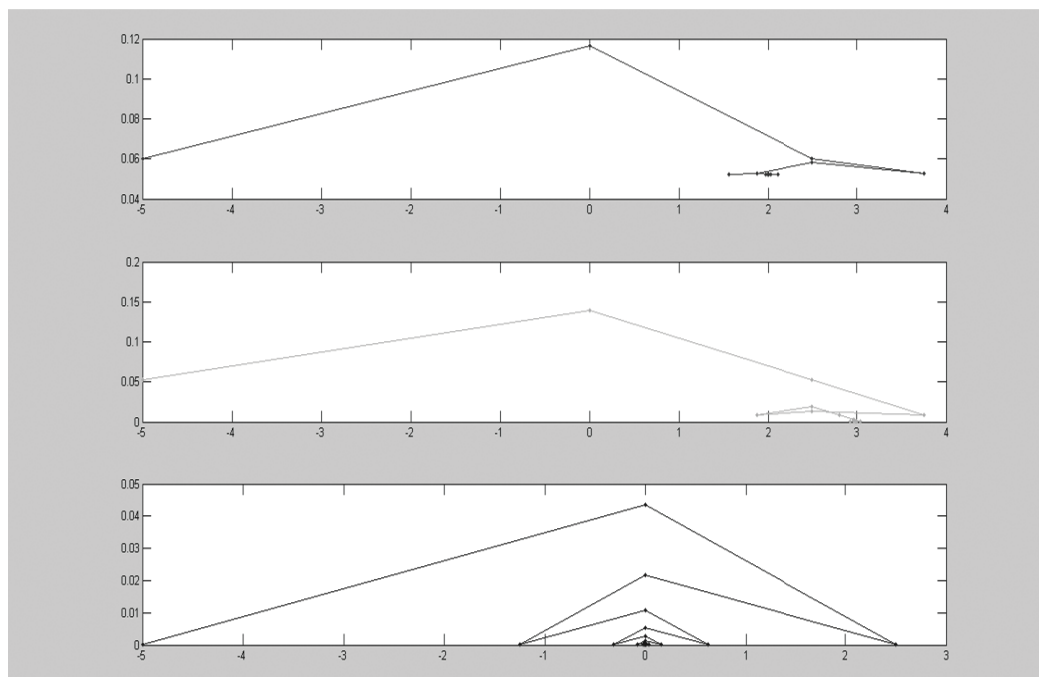


Рис. 5 Процесс решения обратной задачи вращения поисковым методом
(Условия моделирования: $\gamma=2$; $\vartheta=3$; $\psi=0$)

Целью проведенного исследования являлся поиск способов решения обратной задачи вращения в рамках разработки системы контроля пространственного положения по вектору магнитного поля земли [2]. Так как аналитически решить обратные кинематические уравнения не представляется возможным, был проведен поиск решений с использованием экстремальных методов. Реализация экстремальных поисковых алгоритмов требует выбора оптимизируемой переменной, функционала, в качестве которого предлагается использовать модуль вектора рассогласования (1).

Автором были изучены экстремальные методы решения и выбран поисковый алгоритм с переменной величиной шага, причем функция шага (8) была выбрана автором так, чтобы оптимизировать процесс поиска экстремума под конкретную задачу, затратив наименьшее число шагов и вычислительных ресурсов компьютера. Результаты моделирования алгоритма поиска в среде MATLAB r2006 [6] представлены на рисунках 3-5.

Предложенный алгоритм позволяет находить экстремум функционала с любой заранее заданной степенью точности.

Литература:

- 1 Силкин А. А. Синтез и анализ алгоритмов определения пространственной ориентации беспилотной аэродинамической платформы по измерениям магнитного поля Земли. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М.: 2002. 82 с.
- 2 Гурьев И. С. Адаптивные магнитометрические системы контроля пространственного положения летательного аппарата. - М.: Машиностроение, 1983. 97 с.
- 3 Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. - М.: «Наука», 1968. 400 с.
- 4 Аоки. М. Введение в методы оптимизации. - М. «Наука», 1977. 344 с.
- 5 Алифанов О. М. Артюхин Е. А. Румянцев С. В. Экстремальные методы решения некорректных задач. – М.: «Наука». Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988. 288 с.
6. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7.0 Simulink 5/6 Основы применения. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. 800 с.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА



А.А. ТАРАСЕНКОВ

*Ведущий специалист ТЦ
систем электропитания ОАО
«Радиоавионика»*



В.Н. ФЕНОГА

Доцент ГУАП, к.т.н.

Введение

Ни для кого не секрет, что в наши дни все большую роль как в военном деле, так и в народном хозяйстве играют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Создано огромное количество схем и конструкций БПЛА с размерами от нескольких сантиметров до размеров современного истребителя. Для эффективного управления такими аппаратами необходимо иметь информацию об их пространственном положении на всех этапах полета. Обычно для решения этой задачи на летательном аппарате (ЛА) устанавливается курсовертикаль — классическая, с гиростабилизированной платформой, или бесплатформенная. Поэтому, если на крупных БПЛА еще можно поставить механическую гировертикаль, то на мини- и микро-БПЛА массогабаритные требования к приборному оборудованию не позволят этого сделать. Поэтому становится актуальной задача создания микроминиатюрной бесплатформенной системы измерения углов пространственной ориентации БПЛА.

Постановка задачи

Ввиду того, что построить точную одноканальную систему измерения углов пространственной ориентации на основе микромеханических измерителей пока невозможно из-за их большой погрешности, необходимо построить комплексную систему [4]. Один из ее каналов должен быть построен на основе 3-х осевого датчика угловых скоростей (ДУС), другой – на основе

датчика другой физической природы. В качестве основы для второго измерительного канала представляется целесообразным использовать измеритель проекций вектора магнитного поля Земли, т.к. такой измеритель на сегодня обладает высокими точностными показателями и на него не влияют ни направление движения ЛА, ни его ускорения.

Принципиальные трудности создания системы измерения углов пространственной ориентации по вектору магнитного поля Земли

Современные микроминиатюрные магнитометрические измерители имеют достаточно высокую точность, в связи с чем закономерен вопрос о возможности построения системы определения углов пространственной ориентации ЛА по вектору магнитного поля Земли.

В данной постановке задачи принимается, что вектор магнитного поля Земли \vec{H} неподвижен в базовой (земной) системе координат (СК), а ЛА и связанная с ним СК вращаются вокруг него, рис. 1.

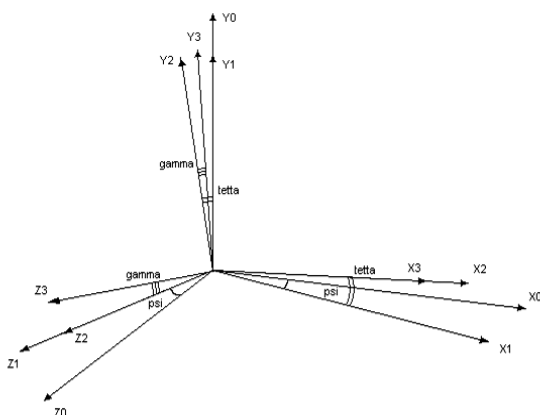


Рис. 1 Взаимное расположение базовой (OX0Y0Z0) и связанной (OX3Y3Z3) систем координат

Оператором, связывающим базовую и связанную СК (1), является матрица направляющих косинусов [1, 2], которая в линеаризованном виде выражается следующим образом:

$$\vec{H}_3 = B \cdot \vec{H}_0 \quad (1)$$

$$B = \begin{vmatrix} 1 & \Delta\vartheta & -\Delta\psi \\ -\Delta\vartheta & 1 & \Delta\gamma \\ \Delta\psi & -\Delta\gamma & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Выражение (1) можно представить в виде системы линейных уравнений (3) с неизвестными $\Delta\gamma$, $\Delta\vartheta$, $\Delta\psi$.

$$\begin{cases} \Delta H_X = H_{0Y} \cdot \Delta\vartheta - H_{0Z} \cdot \Delta\psi \\ \Delta H_Y = H_{0Z} \cdot \Delta\gamma - H_{0X} \Delta\vartheta \\ \Delta H_Z = H_{0X} \cdot \Delta\psi - H_{0Y} \Delta\gamma \end{cases}, \text{ где (3)}$$

$$\Delta H_X = H_{3X} - H_{0X}; \quad \Delta H_Y = H_{3Y} - H_{0Y}; \quad \Delta H_Z = H_{3Z} - H_{0Z}$$

Система (3) может иметь решения только в случае, если ее главный определитель не равен нулю, однако мы имеем $\det(B) = 0$ во всех случаях [2].

Полученный результат имеет геометрическое объяснение. Если мгновенная ось вращения ЛА (вектор мгновенной угловой скорости $\vec{\omega}$) является коллинеарной вектору магнитного поля Земли (ВМПЗ) \vec{H} , то теряются степени свободы, и измеритель не может зафиксировать изменения координат вектора в связанной СК. Другими словами, через прямую, проходящую через вектор магнитного поля, можно провести бесконечное число плоскостей симметрии нашего летательного аппарата, т. е. существует бесконечное число ориентаций [2]. Такая ситуация приводит к невозможности однозначного определения по ВМПЗ ориентации ЛА без привлечения дополнительных измерителей.

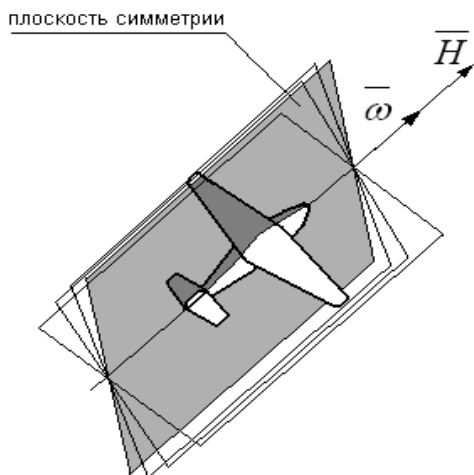


Рис. 2 Геометрическая трактовка неопределенности в задаче ориентации по вектору магнитного поля Земли

Привлечение дополнительных измерителей

Неопределенность определения углов крена, тангажа и рысканья по ВМПЗ может быть исключена, если перевести исходную задачу из плоскости непосредственного отыскания углов ориентации в плоскость контроля этих углов [1]. При этом основным измерителем является датчик другой физической природы, а магнитометр будет работать в канале контроля и коррекции измерений пространственного положения.

Для непосредственного измерения углов ориентации на малоразмерном ЛА целесообразно применять 3-х осевой микромеханический ДУС, оси чувствительности которого должны совпадать со строительными осями ЛА. Таким образом, появляется информация об угловых скоростях вращения аппарата вокруг осей связанной системы координат ω_{x3} , ω_{y3} , ω_{z3} . Разрешив уравнение Пуассона [2], относительно данных угловых скоростей можно определить углы пространственной ориентации:

$$\dot{B}(t) = P \cdot B(t), B(t_0) = B_0, \text{ где (4)}$$

$$P - \text{матрица Пуассона, } P = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{Z3} & \omega_{Y3} \\ \omega_{Z3} & 0 & -\omega_{X3} \\ -\omega_{Y3} & \omega_{X3} & 0 \end{bmatrix}$$

B – матрица направляющих косинусов.

Решение матричного дифференциального уравнения (4) требует процедуры интегрирования, которая приведет к появлению нарастающей во времени ошибки (ошибки интегрирования). Для устранения этой ошибки предлагается ввести канал контроля пространственного положения на основе измерения проекций ВМПЗ [3, 5].

Контроль пространственного положения ЛА по вектору магнитного поля
Если известно положение ВМПЗ в базовой системе координат (СК) и Эйлеравы углы пространственного поворота (γ, ϑ, ψ) связанной СК относительно базовой, то решением уравнения (1) несложно определить проекции ВМПЗ на оси связанной системы координат. Но поскольку магнитометрический датчик в каждый момент времени также производит измерения в связанной СК, то в случае отсутствия погрешности угловой ориентации ($\delta\gamma, \delta\vartheta, \delta\psi$) решение уравнения (1) и показания датчика должны совпадать. Однако, ввиду нарастающей во времени ошибки интегрирования, между измеренными проекции ВМПЗ и его проекциями, вычисленными из (1), будет иметь место разность [3]:

$$\overline{H}_{3\text{мми}} - \overline{H}_{3\text{выч}} = \Delta\overline{H}_3, \text{ где (5)}$$

$\overline{H}_{3\text{мми}}$ – измеренный ВМПЗ в связанной СК; $\overline{H}_{3\text{выч}}$ – ВМПЗ в связанной СК, полученный из выражения (1); $\Delta\overline{H}_3$ – разность между измеренным и ожидаемым значением ВМПЗ $[\Delta H_{X3}, \Delta H_{Y3}, \Delta H_{Z3}]^T$, см. рис.3.

Если измеренный и вычисленный ВМПЗ не совпадают, то в плоскости, проходящей через эти два вектора, возникнет пространственный угол . Этот угол можно принять за показатель качества измерения углов пространственной ориентации:

$$\begin{cases} \Delta\varphi = F_1(\delta\gamma, \delta\vartheta, \delta\psi) \\ \Delta\varphi = F_2(\overline{H}_{3\text{выч}}, \overline{H}_{3\text{мми}}) \end{cases} \quad (6)$$

Спрогнозировать развитие ошибки интегрирования в инерциальном канале можно за счет измерения угловых скоростей $\delta\dot{\gamma}$, $\delta\dot{\vartheta}$ и $\delta\dot{\psi}$, с которыми расходятся вектора $\overline{H}_{зми}$ и $\overline{H}_{звыч}$, или же угловую скорость $\Delta\varphi$. Зная скорость нарастания ошибки, можно с достаточной степенью точности спрогнозировать ее поведение на несколько шагов вперед [5] и корректировать измерения инерциального канала как бы в режиме «память». Продолжительность действия этого режима должна быть достаточной для того, чтобы ЛА вышел из «слепой зоны» и вновь заработал магнитометрический канал коррекции. На рисунке 4 представлена структурная схема системы, реализующей рассмотренные принципы.

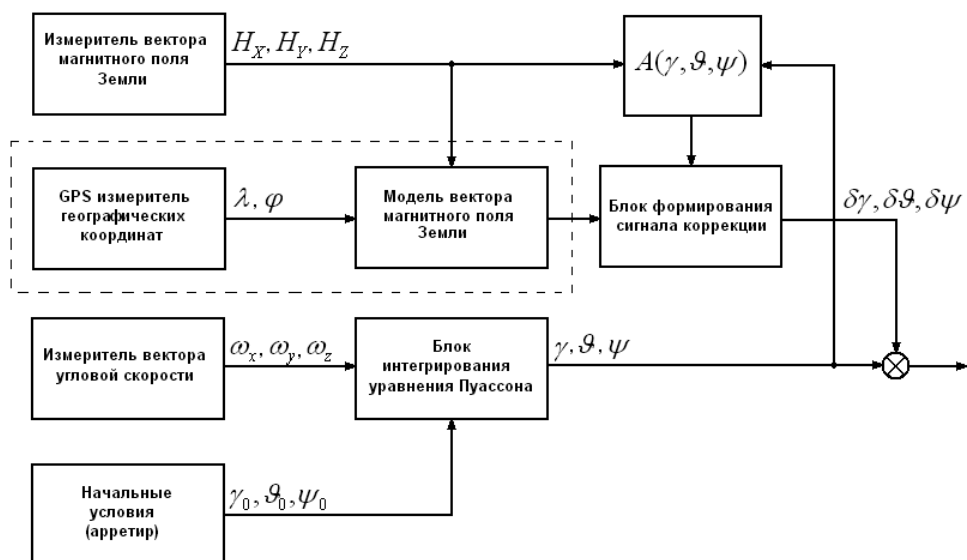


Рис. 4. Структурная схема системы измерения пространственного положения ЛА

Инерциальный измерительный канал состоит из измерителя вектора угловой скорости, блока интегрирования уравнения Пуассона (4), блока задания начальных условий.

Магнитометрический канал контроля состоит из измерителя вектора магнитного поля Земли, блока вычисления коэффициентов матрицы направляющих косинусов $A(\gamma, \vartheta, \psi)$, блока формирования сигналов коррекции. Этот блок на основе измерений ВМПЗ в текущий момент времени и «экстраполированного» с помощью матрицы $A(\gamma, \vartheta, \psi)$ значения ВМПЗ, полученного из предыдущего измерения, вычисляет сигналы поправок $\delta\gamma$, $\delta\vartheta$, $\delta\psi$. Эти сигналы компенсируют ошибку интегрирования в каналах крена, тангажа и рысканья соответственно (см. п. 6.). Дополнительно в состав магнитометрического канала контроля входит подсистема модели ВМПЗ. Подсистема

состоит из GPS-измерителя географических координат [7] и блока математической модели ВМПЗ [6]. В настоящий момент целесообразность использования дополнительной информации о ВМПЗ из математической модели подлежит исследованию. Предполагается, что, с применением соответствующих методов обработки, это может дать более точную оценку компонент ВМПЗ. На структурной схеме (рис. 4.) подсистема моделирования вектора магнитного поля условно обведена пунктиром.

Выводы

В данной статье рассматривается один из возможных подходов к решению задачи построения магнитометрической системы контроля пространственного положения ЛА. Предложен алгоритм работы и структурная схема такой системы.

Рассмотренные алгоритмы позволяют скомпенсировать ошибку интегрирования инерциального канала за счет магнитометрического канала контроля пространственного положения, а также спрогнозировать развитие ошибки интегрирования за счет получения производных $\delta\dot{y}$, $\delta\dot{\vartheta}$ и $\delta\dot{\psi}$. Это делает более эффективным комплексирование при возникновении резко меняющихся возмущений магнитного поля. В рамках дальнейших исследований надлежит выяснить эффективность применения математической модели МПЗ [6] для уточнения работы магнитометрического канала контроля.

Литература:

1. Горбатенко С. А., Макашов Э. М., Полушкин Ю. Ф., Шефтель Л. В. Механика полета. М.: Машиностроение, 1969. 412 с.
2. Силкин А. А. Синтез и анализ алгоритмов определения пространственной ориентации беспилотной аэродинамической платформы по измерениям магнитного поля Земли. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: 2002. 82 с.
3. Гурьев И. С. Адаптивные магнитометрические системы контроля пространственного положения летательного аппарата. М.: Машиностроение, 1983. 97 с.
4. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов. Л.: Машиностроение, 1984. 207 с.
5. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. М.: Машиностроение. 1991. 512 с.
6. Почтарев В. И. Нормальное магнитное поле Земли.- М.: Наука.1984. 352 с.
7. Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. A John Wiley & Sons, Inc. Publication. 2001. P. 392.

МАГНИТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА



А.А. ТАРАСЕНКОВ

Ведущий специалист ТЦ
систем электропитания ОАО
«Радиоавионика»



В.Н. ФЕНОГА

Доцент ГУАП, к.т.н.

1. Введение

Современный уровень развития микромеханики, микроэлектроники и вычислительной техники открывает широкие возможности для создания миниатюрных измерительных систем, применяемых в авиации. Измерительную часть таких систем, как правило, составляют дешевые в производстве, миниатюрные датчики. Точность этих измерителей обычно невысока, однако, применение методов комплексной обработки информации позволяет добиться точности оцениваемых параметров близкой к точности классических систем с прецизионными дорогими измерителями. В результате можно получить дешевую, миниатюрную измерительную систему с высокими показателями точности и надежности.

В предлагаемой статье рассматривается один из возможных подходов к построению комплексной магнитометрической системы контроля пространственного положения летательного аппарата (ЛА) [3].

2. Постановка задачи

Основа системы – трехосевой магнитометр. Этот датчик измеряет компоненты вектора магнитного поля Земли. На каждом цикле измерения информация от магнитометра поступает в вычислитель, где определяются приращения углов пространственного положения ЛА ($\Delta\gamma$ – угол крена; $\Delta\upsilon$ – угол тангажа; $\Delta\psi$ – угол рысканья). Полученные приращения проходят фильтрацию и интегрируются, тем самым восстанавливаются значения текущих углов γ , υ , ψ .

3. Доказательство неразрешимости задачи

В данной постановке задачи принимается, что вектор магнитного поля Земли \vec{H} неподвижен в базовой (земной) системе координат (СК), а ЛА и связанная с ним СК вращаются вокруг него, рис. 1. [1, 5]

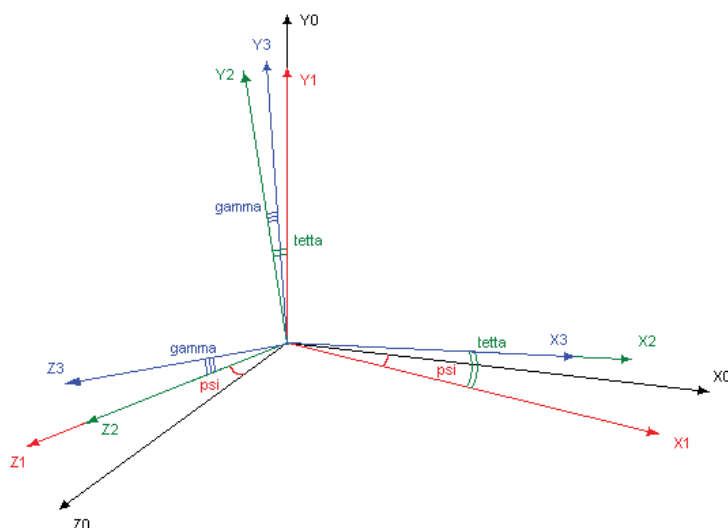


Рис. 1 Взаимное расположение базовой ($OX_0Y_0Z_0$) и связанной ($OX_3Y_3Z_3$) систем координат

Оператором, связывающим базовую и связанную СК (1), является матрица направляющих косинусов [1, 2], которая в линеаризованном виде выражается следующим образом (2)

$$\vec{H}_3 = B \cdot \vec{H}_0 \quad (1)$$

$$B = \begin{vmatrix} 1 & \Delta\vartheta & -\Delta\psi \\ -\Delta\vartheta & 1 & \Delta\gamma \\ \Delta\psi & -\Delta\gamma & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Выражение (1) можно представить в виде системы линейных уравнений (3) с неизвестными $\Delta\gamma$, $\Delta\vartheta$, $\Delta\psi$.

$$\begin{cases} \Delta H_X = H_{0Y} \cdot \Delta\vartheta - H_{0Z} \cdot \Delta\psi \\ \Delta H_Y = H_{0Z} \cdot \Delta\gamma - H_{0X} \Delta\vartheta \\ \Delta H_Z = H_{0X} \cdot \Delta\psi - H_{0Y} \Delta\gamma \end{cases} \quad \text{где (3)}$$

$$\Delta H_X = H_{3X} - H_{0X}; \quad \Delta H_Y = H_{3Y} - H_{0Y}; \quad \Delta H_Z = H_{3Z} - H_{0Z}$$

Система (3) может иметь решения только в случае, если ее главный определитель не равен нулю, однако мы имеем $\det(B) = 0$ во всех случаях.

Полученный результат имеет геометрическое объяснение. Если мгновенная ось вращения ЛА является коллинеарной вектору магнитного поля Земли (ВМПЗ), то теряются степени свободы, и измеритель не может зафиксировать изменения координат вектора в связанной СК [2]. Такая ситуация приводит к невозможности решения задачи определения углов ориентации по ВМПЗ без привлечения дополнительных измерителей.

4. Принцип работы магнитометрической системы контроля

Для того чтобы разрешить систему уравнений (3), необходимо понизить ее порядок. Это можно сделать, если ввести в решение априорные знания о некоторых из углов пространственной ориентации [2]. Таким образом, целесообразно предложить комплексную систему контроля пространственного положения ЛА, в которую будет входить магнитометрический канал.

Один из возможных вариантов реализации комплексной системы [4] контроля пространственного положения ЛА представлен на рис. 2

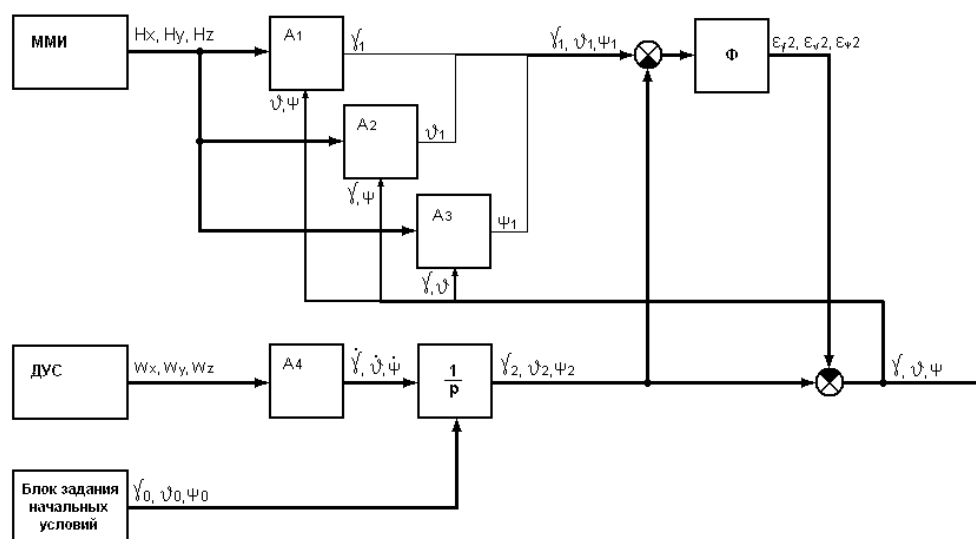


Рис. 2 Структурная схема комплексной измерительной системы контроля пространственного положения ЛА

Как видно из структурной схемы, система имеет фильтр разностного сигнала [4] и два измерительных канала — магнитометрический и инерциальный.

Основой магнитометрического канала является трехосевой магнитометрический измеритель (ММИ). Он воспринимает проекции вектора магнитного поля Земли (H_x , H_y , H_z). Эта информация передается в вычислительные блоки А1, А2 и А3, которые совместно с инерциальным каналом реализуют решение системы уравнений (3). Поясним их работу на примере блока вычисления угла крена А1. Рассмотрим третье уравнение системы (3) в полном виде:

$$H_{3Z} = (\sin \psi \cdot \cos \gamma + \cos \psi \cdot \sin \vartheta \cdot \sin \gamma) \cdot H_{0X} - (\cos \vartheta \cdot \sin \gamma) \cdot H_{0Y} + \\ + (\cos \psi \cdot \cos \gamma - \sin \psi \cdot \sin \vartheta \cdot \sin \gamma) \cdot H_{0Z} \quad (4)$$

Сгруппировав соответствующим образом члены уравнения (4), нетрудно найти его решение относительно угла γ :

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2}} \right) - \arctg \left(\frac{B}{A} \right) \quad , \text{ где (5)}$$

$$A = \cos \psi \cdot \sin \vartheta \cdot H_{0X} - \cos \vartheta \cdot H_{0Y} - \sin \psi \cdot \sin \vartheta \cdot H_{0Z};$$

$$B = \sin \psi \cdot H_{0X} + \cos \psi \cdot H_{0Z};$$

$$C = H_{3Z}$$

Как видно из выражения (5), для нахождения γ необходимо привлечь информацию об углах ν и ψ . Информация об этих углах поступает в блок А1 с выхода комплексной измерительной системы.

Блоки А2 и А3 работают аналогичным образом, но реализуют другие уравнения системы (3).

Перейдем к рассмотрению инерциального канала комплексной системы. Канал включает в себя 3-х осевой ДУС, вычислительный блок А4, интегратор и блок задания начальных условий (см. рис. 2). А4 выполняет функцию преобразования угловых скоростей ω_X , ω_Y , ω_Z в угловые скорости $\dot{\gamma}$, $\dot{\vartheta}$, и $\dot{\psi}$. В блок заложены уравнения:

$$\begin{aligned} \dot{\vartheta} &= \omega_Y \cdot \sin(\gamma) + \omega_Z \cdot \cos(\gamma); \\ \dot{\gamma} &= \omega_X - \operatorname{tg}(\vartheta) \cdot (\omega_Y \cdot \cos(\gamma) - \omega_Z \cdot \sin(\gamma)); \\ \dot{\psi} &= (\omega_Y \cdot \cos \gamma - \omega_Z \cdot \sin \gamma) \cdot \sec \vartheta \end{aligned} \quad (9)$$

Угловые скорости $\dot{\gamma}$, $\dot{\vartheta}$, и $\dot{\psi}$ поступают на интегратор, с выхода которого снимаются измеренные углы крена и тангажа. Блок задания начальных условий необходим для корректной работы интегратора. Так как представленная измерительная система является комплексной, выполненной по схеме с фильтром разностного сигнала (ФРС), роль ФРС выполняет блок Ф [4].

Структурная схема (Рис. 2) реализована в среде моделирования MAT Lab, с применением пакета Simulink, см рис. 3 [6].

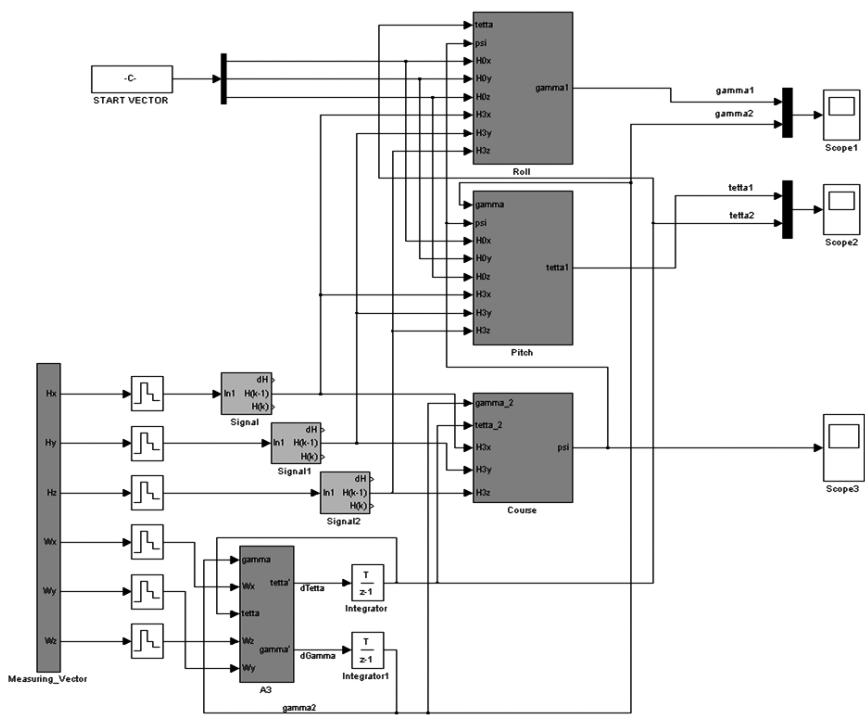


Рис. 3 Модель измерительной системы, выполненная в MAT Lab Simulink

5. Выводы

В данной статье рассматривается один из возможных подходов к решению задачи построения магнитометрической системы контроля пространственного положения ЛА. Предложен алгоритм работы и структурная схема такой системы. Проведено моделирование работы ее измерительных каналов.

В результате моделирования удалось установить, что совместная работа магнитометрического и инерциального каналов для контроля пространственного положения ЛА возможна и реализуема. Измерение углов γ , ψ , ψ устойчиво при любом пространственном положении ЛА. Точность измерения углов ориентации по магнитометрическому каналу не хуже ± 0.30 . Магнитометрический канал имеет характерную высокочастотную погрешность, связанную с вибрацией корпуса ЛА и воздействием на датчик высокочастотных электромагнитных помех.

Высокочастотный характер ошибки магнитометрического канала делает возможным успешное комплексирование с инерциальным измерителем (ДУС), погрешность которого лежит в низкочастотной части спектра. Это дает обширное поле деятельности для дальнейших исследований.

Литература:

1. Горбатенко С. А., Макашов Э. М., Полушкин Ю. Ф., Шефтель Л. В. Механика полета. М.: Машиностроение, 1969. 412 с.
2. Силкин А. А. Синтез и анализ алгоритмов определения пространственной ориентации беспилотной аэродинамической платформы по измерениям магнитного поля Земли. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: 2002. 82 с.
3. Гурьев И. С. Адаптивные магнитометрические системы контроля пространственного положения летательного аппарата. М.: Машиностроение, 1983. 97 с.
4. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов. Л.: Машиностроение, 1984. 207 с.
5. Амелькин Н. И. Кинематика и динамика твердого тела (кватернионное изложение). Московский физико-технический государственный университет, 2000. 61 с.
6. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1 / 7.0 Simulink 5 / 6 Основы применения. М.: САЛОН-Пресс, 2005. 800 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ В СРЕДЕ MATLAB

Балтийский Государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



ГАЛАЙДИН
Павел
Андреевич
д.т.н., профессор



МУСТАФАЕВ
Юсиф
Ниязович
Доцент



НИКОЛАЕВ
Ростислав
Алексеевич
Магистрант



ТАБОРСКАЯ
Виктория
Андреевна
Магистрант

Рассматривается возможность создания состоящего из прикладного пакета Matlab и цифрового сигнального процессора комплекса, предназначенного для упрощения построения систем управления мехатронными устройствами с возможностью визуального наблюдения характеристик системы в реальном масштабе времени. Приведён пример простейшей системы управления двигателем постоянного тока, позволяющей изменять скорость вращения двигателя и наблюдать величину тока двигателя.

Моделирование мехатронных систем с использованием прикладных программных средств ускоряет получение достоверных результатов. В настоящее время существуют множества математических аппаратов, с помощью которых мы можем смоделировать устройство в целом или частично. Во всех прикладных программах применяются математические описания применяемых узлов, контроллеров и электрических машин. Результатом моделирования являются получение на виртуальных измерительных приборах зависимостей входных воздействий и реакции построенной математической модели на данные воздействия. Однако для реализации созданной математической модели с конкретными микроконтроллерами требуется создание алгоритма работы реальной мехатронной системы и написание программы для микроконтроллера. Данные этапы выполнения работ требуют больших

материальных и временных затрат. Применение полученных результатов симулирования для практики является актуальным.

Развитие программного обеспечения и цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) позволяют создать систему, которая в реальном масштабе времени способна передавать и принимать сигналы с объекта управления. Для создания связи можно использовать интерфейсы JTAG, Ethernet и UART. Выбор интерфейса зависит от требований, предъявляемых к конкретной задаче.

В качестве примера рассмотрим совместное использование Matlab/Simulink и ЦСП TMS320F2812 фирмы Texas Instruments. Наличие в составе Simulink большого количества алгоритмов и регуляторов, а также математического описания цифровых сигнальных процессоров и их периферии позволяет создавать управляющие системы, параметры которых можно изменять в реальном масштабе времени с помощью технологии RTDX (Real-Time Data Exchange). RTDX - это технология, которая позволяет пользователю «ненавязчиво» передавать данные из одного приложения в другое приложение и наоборот. Данный протокол имеет совсем небольшой объем личного кода, поэтому не мешает передаваемому и принимаемому кодам. RTDX имеет два буфера, которые служат для передаваемых (write) и принимаемых (read) данных. Данная библиотека включена и в BIOS ЦСП. Применение функции реального масштаба времени RTDX позволяет оперативно изменять параметры регулятора и получать данные о работе усилителя управления двигателем, о токе и напряжении питания, а также о скорости и положении ротора.

При создании модели используются стандартные функции Matlab и имеющиеся в составе пакета Simulink модели, передаточные функции, измерительные и контролирующие приборы. В начале в пакете Simulink создается математическая модель проектируемой системы, после компиляции которой формируется проект, в состав которого включаются библиотеки, необходимые для создания загружаемого в процессор кодов. Далее данный проект записывается в память процессора, вся информация о регистрах и состоянии узлов в реальном масштабе времени через JTAG передаётся в Matlab.

Физическая реализация технологии RTDX включает в себя комбинацию программных и аппаратных компонентов: от внутренней логики JTAG эмулятора, его аппаратного обеспечения, до JTAG интерфейса и RTDX библиотек на ПК и ЦСП. Для передачи данных от целевого процессора к ПК исполняемое на ЦСП приложение вызывает RTDX библиотеку, прошитую в ЦСП. На следующем этапе данные копируются в буфер ЦСП и, затем, в реальном масштабе времени передаются в ПК посредством аппаратного обеспечения эмулятора. В ПК данные сохраняются на диск или через внутренний

буфер Code Composer Studio (CCS) передаются в целевое приложение (например, Matlab). В данной статье описывается использование процессора TMS320F2812 для управления двигателем постоянного тока с постоянными магнитами с использованием RTDX.

На начальном этапе создается математическая модель с использованием передаточной функции, описывающей двигатель постоянного тока. Созданная модель предварительно симулируется в Simulink [1]. В результате моделирования были получены скоростные и механические характеристики. Далее, используя встроенную в пакет Simulink функцию описания ЦСП и его периферии, была создана рабочая математическая модель. После компилирования и отладки Matlab формирует полный пакет программ на языке C, который передается в программный комплект Code Composer Studio, где полученный код повторно компилируется и через интерфейс JTAG прошивается в память ЦСП. Для реализации предложенного макета были использованы следующие программные и аппаратные средства:

- Matlab 7.1 и выше;
- Code Composer Studio 3.1 или 3.3;
- Программатор JTAG XDS510;
- Плата с цифровым сигнальным процессором TMS320F2812 и усилителем управления двигателем;
- Двигатель постоянного тока (ДПТ).

На рис. 1 приведена математическая модель системы, созданной для управления ДПТ.

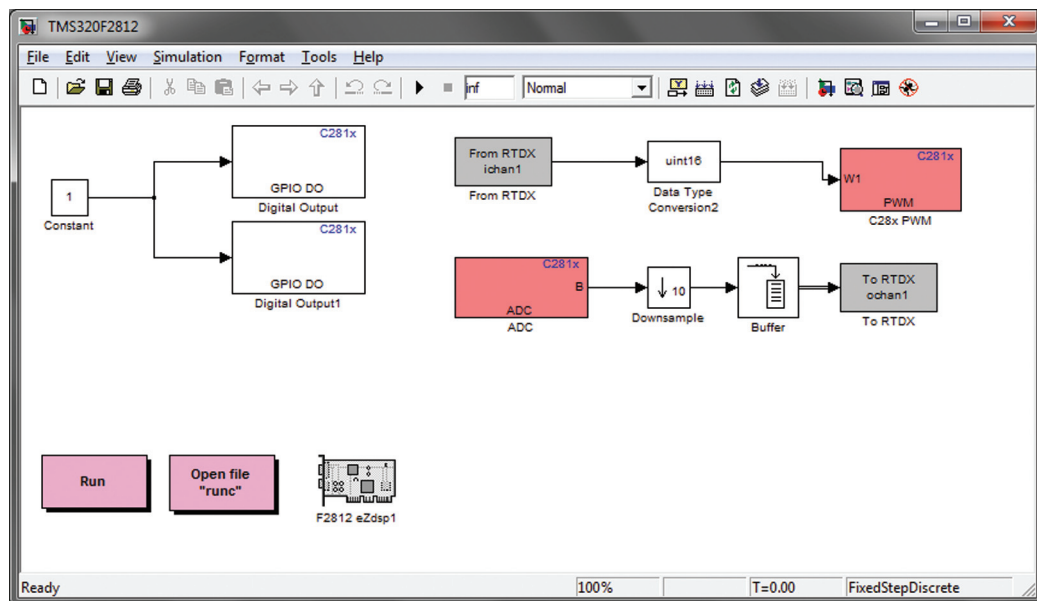


Рис. 1 - Математическая модель в Matlab-Simulink

Приведенная на рис. 1 математическая модель позволяет изменять в реальном масштабе времени скважность ШИМ [2]. Для этого в пакете Matlab был создан графический пользовательский интерфейс (ГПИ), включающий в себя слайдер для изменения скважности ШИМ и окно для отображения информации, поступающей с ЦСП (Рис. 2) [3]. В качестве примера на рис. 2 показан ток якоря двигателя, информация о котором поступает на входы АЦП ЦСП. На рис. 3 показан ШИМ сигнал, подающийся в усилитель для управления двигателем.

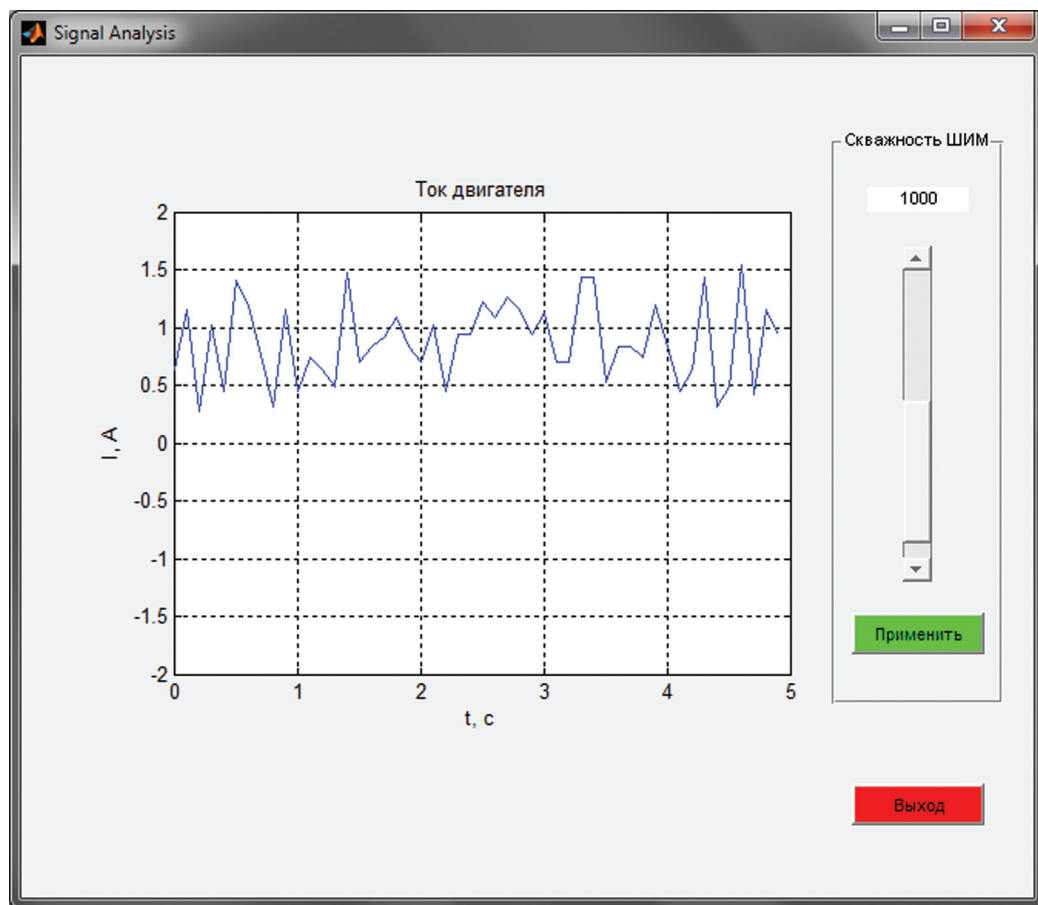


Рис. 2 - Графический пользовательский интерфейс

Далее опишем коротко последовательность действий, которые были применены для создания математической модели и связей с ЦСП:

- 1 Создать ГПИ при помощи функция GUI;
- 2 Создать m-файл, предназначенный для запуска CCS, настройки RTDX и подключения ГПИ;
- 3 Создать в Simulink математическую модель;

- 4 Запустить m-файл, который компилирует созданную модель и передает её для записи в ЦСП.

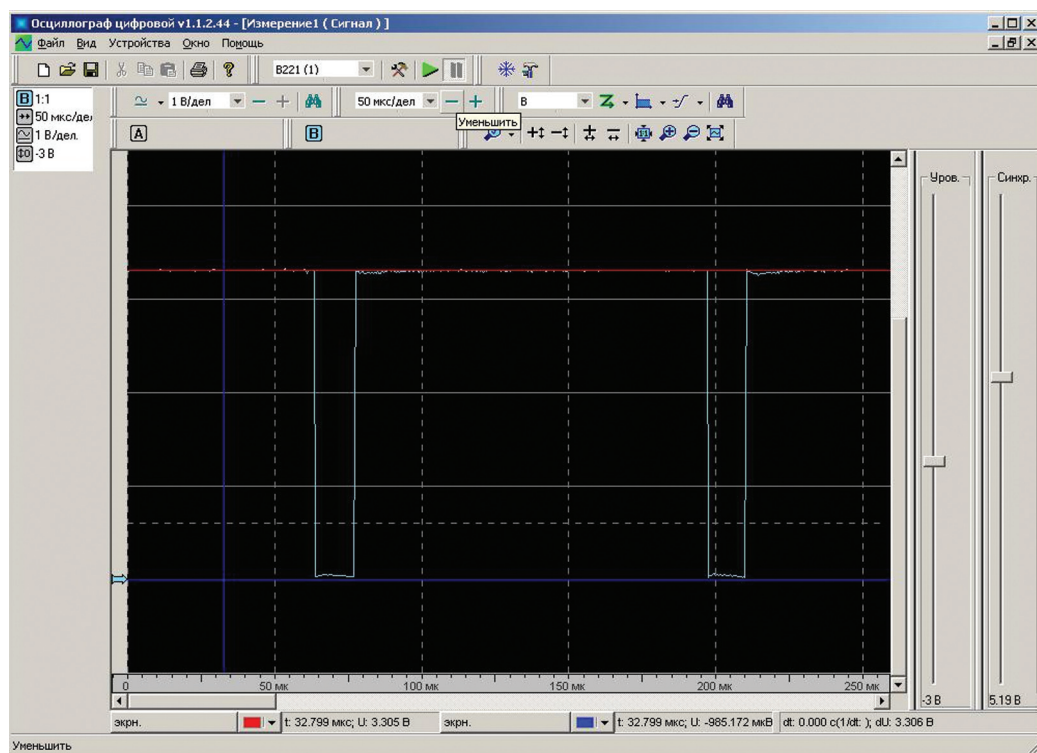


Рис. 3 – График ШИМ, подаваемый в усилитель управления ДПТ

В созданной математической модели были использованы следующие блоки:

- **From RTDX** – позволяет ЦСП получать данные от ПК через RTDX;
- **To RTDX** – позволяет передавать данные от ЦСП к ПК через RTDX;
- **ADC** – блок настройки потока данных, получаемых со входов АЦП ЦСП C281x;
- **Buffer** – накапливает входные данные и формирует массив для передачи обработчику Simulink;
- **Data Type Conversation** – преобразует тип входных данных в тип, установленный настройками Matlab;
- **C28x PWM** – настраивает менеджер событий ЦСП C281x на генерацию ШИМ;
- **F2812 eZdsp** – подключает требуемые для создания проекта на ЦСП TMS320F2812 библиотеки и позволяет производить необходимые настройки;
- **GPIO DO** – блок управления настройками портов ввода/вывода;

- **Downsample** – уменьшает частоту дискретизации сигнала путем выборки лишь каждого n -го отсчета, начиная с первого. Применение данной функции позволяет понизить разрядность входного сигнала, который выводится в окне для отображения входных сигналов АЦП.

Литература:

1. С. Г. Герман-Галкин. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК — СПб: Корона-Век, 2008 г., 368 стр.
2. From MATLAB and Simulink to Real-Time with TI DSP's; Jacob Fainguelernt; <http://cnx.org/content/col10713/1.1>
3. Приложения с GUI и дискрипторная графика; <http://matlab.exponenta.ru/gui/index.php>
4. TMS320F2812 Data manual; <http://www.scribd.com/doc/37208571/tms320f2812>

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПО ГЛУБОКОЙ ТЕХНОЛОГИИ «STEALTH»

Балтийский Государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



О.В. СВЕШНИКОВ
к.т.н., доцент

Рассматриваются особенности пеленгации объектов, в том числе выполненных по глубокой технологии «Stealth». Изменения формы поверхностей объекта приводят к дополнительной амплитудно-фазовой модуляции отражённого радиолокационного сигнала, что значительно увеличивает дисперсию флуктуаций эхо-сигнала, и к невозможности различения отдельных вторичных источников. Предложен алгоритм получения радиолокационного изображения подобных объектов.

Ключевые слова: радиолокационное изображение, глубокая технология «Stealth», угловой шум, низкочастотная амплитудно – фазовая модуляция, локальный отражатель, АК - реакция, групповой объект.

Оценка эффектов пеленгования объектов, выполненных по глубокой технологии «Stealth», учитывает, что наблюдение за ними производится на всех углах видимости. В этом случае только простым перераспределением энергии отраженных волн и нанесением поглощающих покрытий не обеспечить эффект «невидимости». Дополнительно принимается условие наблюдения за объектом на малых дальностях, и, как показано в [1,2], здесь на первый план выходят вопросы, связанные с операцией «измерение». Как известно, данная операция является неэнергетической и оценивается с учетом масштабирующих коэффициентов типа сигнал/помеха, сигнал/фон, поэтому основное внимание уделяется радиолокационным изображениям, позволяющим более точно измерить положение или классифицировать объект.

При определении рассеяния объекта используется принцип локального отражения радиоволн сантиметрового диапазона [3].

Объекты, выполненные по глубокой технологии «Stealth», используют эффект изотропного рассеяния, достигаемого заменой части поверхности другим типом поверхности (эллиптической). Данный эффект является широкополосным и в комплексе с нанесением поглощающего покрытия обеспечивает наилучший результат. На рис.1. показан объект, выполненный с учетом сделанных предположений.



Рис.1. Самолет В 2

Если рассматривать процесс отражения как Фурье преобразование полей л.о., заданных на множестве пространственных и временных частот, то возможно сверхразрешение [4,5] или получение трехмерного радиолокационного изображения методом проекций.

При отражении от объектов, выполненных по глубокой технологии «Stealth», изменяется характер вариации фазового множителя вторичного поля отдельных л.о., что приводит к возникновению АК - реакции [2]. АК-реакция — это когерентное суммирование полей удаленных источников. При АК-реакции наблюдается «дальнее» образование л.о., образуется фантомный л.о., что отражается на реализации, рис.2. (по оси ординат изменение ЭПР или положения центра отражения образца, а по оси абсцисс время). Так как пространственные или доплеровские частоты отдельных л.о. не совпадают, то наблюдаются биения. В этом случае точное восстановление пространственных частот л.о. невозможно. Наблюдается эффект сжатия и расширения радиолокационного изображения.

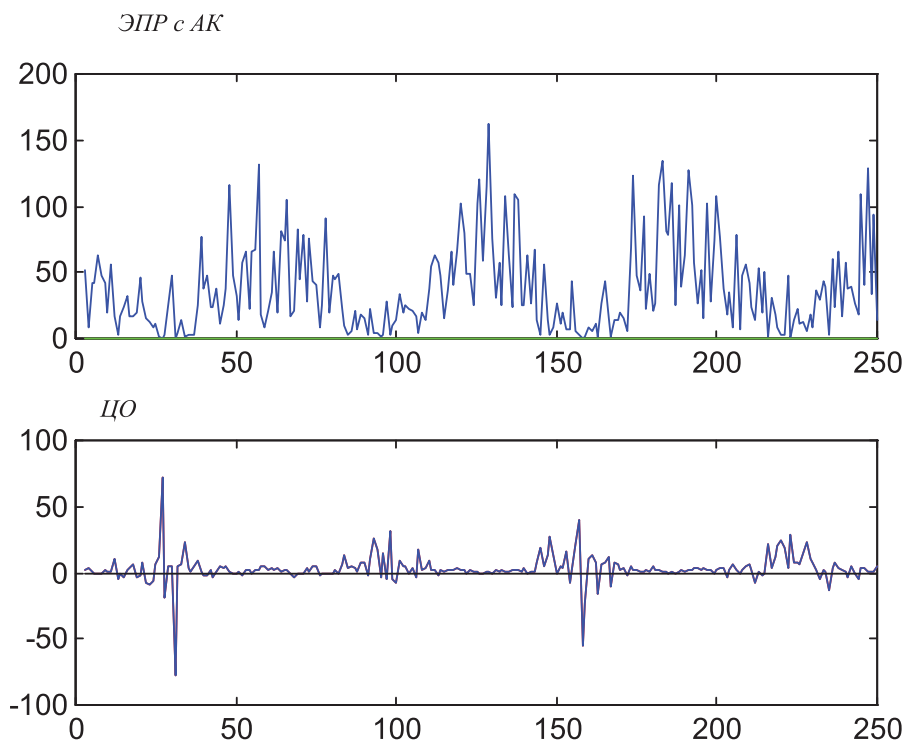


Рис.2. Флуктуации ЭПР и радиолокационного центра отражения объекта с АК – реакцией

Предлагается поэтапное восстановление изображения объекта. На первом этапе необходимо установить факт АК-реакции, а на втором этапе восстановить расположение л.о. В [2] показано, что флуктуации информационного параметра могут быть представлены случайным процессом с амплитудно — фазовой модуляцией корреляционно связанными процессами. В этих условиях целесообразно использовать понятие квазиспектра [5], получаемого путем разделения процесса на два процесса с амплитудной и фазовой модуляцией. Анализ спектра амплитуд позволяет установить факт и частоту АК-реакции, на рис.3 показаны нормированные по частоте спектры, без АК-реакции 1) и с ней 2) .

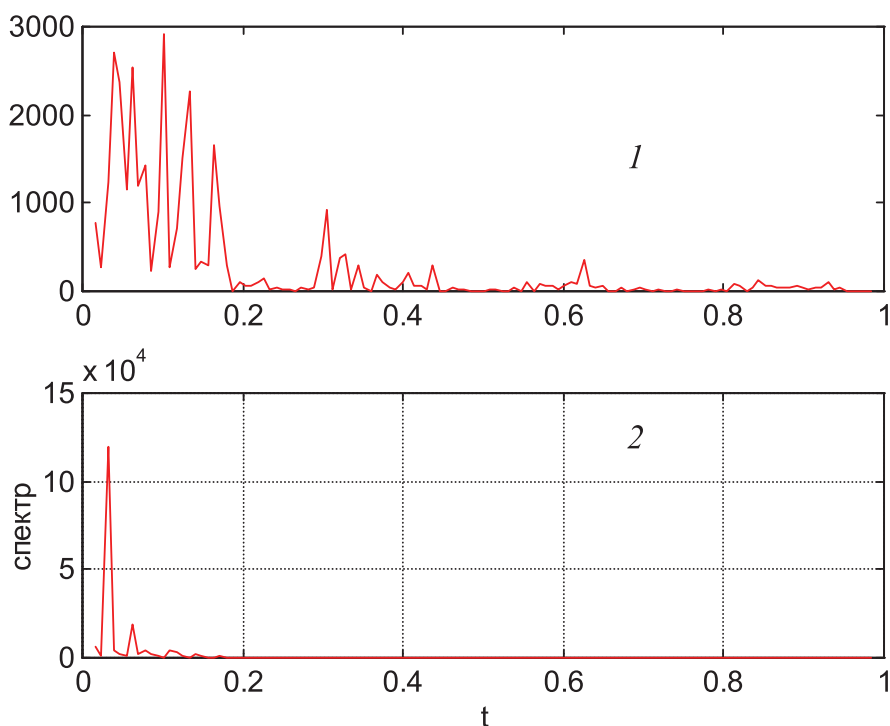


Рис.3. Спектр выборки максимумов флуктуаций ЦО без АК - реакции и с АК - реакцией

Включение АК-реакции приводит к возникновению доминирующей гармоники с амплитудой, в несколько раз превосходящей остальные гармоники сигнала. Далее, используя аппарат квантилей, определяется факт АК-реакции [2]. Определяются квантили K порядка 0.1 и 0.5. Так как положение максимума спектра неизвестно, используется относительная оценка интегральной суммы $x = (K_{0,5} - K_{0,1}) / K_{0,5}$. Значение x существует в пределах 0 до 1. Предлагается установить пороговое значение $x_{\text{пор}} = 0,5$. При этом, если $x \leq x_{\text{пор}}$ АК-реакция есть, иначе — нет. При анализе квазиспектра использу-

ется не аппарат Фурье преобразования, а оценивается ПРВ промежутков τ_i , моментов времени пересечения нуля исследуемого процесса. В этом случае сохраняется информация о знаке координат л.о. Более точная информация о положении л.о. или радиолокационное изображение л.о. получается обработкой выборки парциальной частоты $1/\tau_i$, соответствующей частоте АК-реакции. Так как АК-реакция — это «дальнее» взаимодействие л.о., то наблюдается эффект пеленгования группового объекта. Оценивается парциальная радиолокационная длина объекта [2], и края объекта соответствуют расположению двух л.о. Выборка разностного сигнала, соответствующая τ_i АК-реакции, умножается на масштабирующий коэффициент, равный параметру амплитудной модуляции.

Формально подобный алгоритм подходит и к обработке сигнала в отсутствие АК-реакции, но ограничен мощностью вычислительных средств.

Вывод: Применение глубокой технологии «Stealth» и условий наблюдения за объектами приводит к необходимости учета дополнительных особенностей формирования эхо-сигнала. Результаты моделирования носят иллюстративный характер и показывают возможность появления эхо-сигнала со сложным видом модуляции. Раздельная обработка и определение факта АК-реакции позволяет уточнить расположение л.о. и восстановить радиолокационное изображение объекта.

Литература:

- 1.Свешников О.В. Радиолокационное пеленгование объектов, выполненных по технологии Stealth БГТУ, СПб., 2010.-132с.
- 2.Свешников О.В. Особенности пеленгования объектов, выполненных по глубокой технологии «Stealth», БГТУ, СПб., 2011. -148с.
- 3.Штагер Е.А. Отражение радиоволн от кораблей и других морских объектов СПб, СПбГУ,2004 - 418с.
- 4.Дрогалин В.В. и др. Алгоритмы оценивания угловых координат источников излучений, основанные на методах спектрального анализа. Успехи современной радиоэлектроники, 1998, № 2.
- 5.Левенец А.В. и др. Оценки спектра сигнала методом выделения скрытых периодичностей по пересечениям нуля//Измерительная техника. 1996. № 9, стр.25-30.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ТЕРМОБИОКАМЕРОЙ

Балтийский Государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



А.А. СОРОКИН
Профессор,
«Заслуженный
работник высшей
школы Российской
Федерации»



Д.А. ХРОМИХИН
Студент

Материал статьи посвящен разработке и макетированию автоматической двухканальной электронной системы управления микроклиматом компактной термобิโอкамеры, предназначенной для восстановления эмоционального, психического и физического состояний человека-оператора после воздействия на него стрессовых нагрузок.

Персоналу, операторам систем повышенной опасности, постоянно находящимся в состоянии стресса или переносящим тяжелые физические перегрузки, необходимо восстановление после этих воздействий. Вследствие особенностей родов деятельности, связанных с наличием этих воздействий (экипажи летательных аппаратов и кораблей, спортсменов, и т.д.), время на восстановление чаще всего ограничено или отсутствует. Исследования показывают, что проблему быстрого восстановления позволяют решить температурные воздействия на организм человека [1]. С целью температурных воздействий применяют различные виды термобิโอкамер. Исходя из поставленной задачи, наиболее целесообразно использовать мобильные и компактные варианты термобิโอкамер, предполагающие возможность эксплуатации в замкнутых пространствах. Такого рода термобิโอкамера была создана Массарским А.С. [2]. Промышленность нашей страны выпускала различные модели термобิโอкамер его системы. В одном из вариантов термобิโอкамера использовалась даже космонавтами на орбитальной космиче-

ской станции «Мир». Сегодня стоит задача создания автоматической электронной системы управления термоблюкамерой в рамках нового проекта по ее модернизации с применением современных материалов и технологий [1].

Изучая тепловые воздействия как одну из форм регуляции состояния организма человека, Массарский А.С. приходит к выводу, что наиболее эффективное влияние на организм человека оказывают температуры в интервале 70-100°C при влажности 20-45%. Указанные условия подтверждены медицинскими исследованиями [1]. Большинство термоблюкамер, созданных ранее, не удовлетворяли этим условиям, так как влажность воздуха в них стремилась к 100% из-за отсутствия эффективной вентиляции и активной перспирации в условиях высоких температур.

При использовании термоблюкамеры необходимо контролировать влажность среды, выполнять температурные режимы, учитывая индивидуальные особенности человека, использующего камеру. Контроль этих параметров возлагался ранее на самого пользователя или же на оператора термоблюкамеры. Естественно стремление создать адаптивную систему с самонастройкой. Исходя из этого, необходимо сформулировать требования к такой системе:

- 1) Наличие интерфейса и органов управления, позволяющих пользователю воздействовать на термоблюкамеру, устанавливая режимы её работы. Для обеспечения индивидуальных режимов работы термоблюкамеры в системе управления должен присутствовать контур обратной связи по физиологическим параметрам пользователя (пульс, давление).
- 2) Возможность управления температурой с погрешностью $\pm 1^\circ\text{C}$, обуславливающая использование нагревателя в качестве источника тепла, а также датчиков температуры в качестве элемента обратной связи системы управления.
- 3) Необходимость использования вентилятора в качестве элемента, реализующего циркуляцию воздуха внутри камеры, а также датчиков скорости движения воздуха как элемента обратной связи системы управления.
- 4) Автоматическое выполнение программ процедур, обуславливающее необходимость применения системы управления, обладающей памятью для хранения этих программ.
- 5) Контроль влажности воздуха внутри термоблюкамеры, предполагающий наличие датчиков влажности в качестве элемента обратной связи системы управления. Влажность воздуха в термоблюкамере зависит от температуры и скорости движения воздуха внутри камеры и обусловлена процессами перспирации организма человека. Таким образом, контроль влажности в среде термоблюкамеры обеспечивается согласованным изменением температурных режимов и скорости движения воздуха.

6) Возможность автоматического и ручного отключения нагревателя в случае возникновения аварийных режимов, в том числе на основе информации о физиологических параметрах пользователя.

Отвечающая вышеизложенным требованиям обобщенная структура системы управления представлена на рисунке 1:

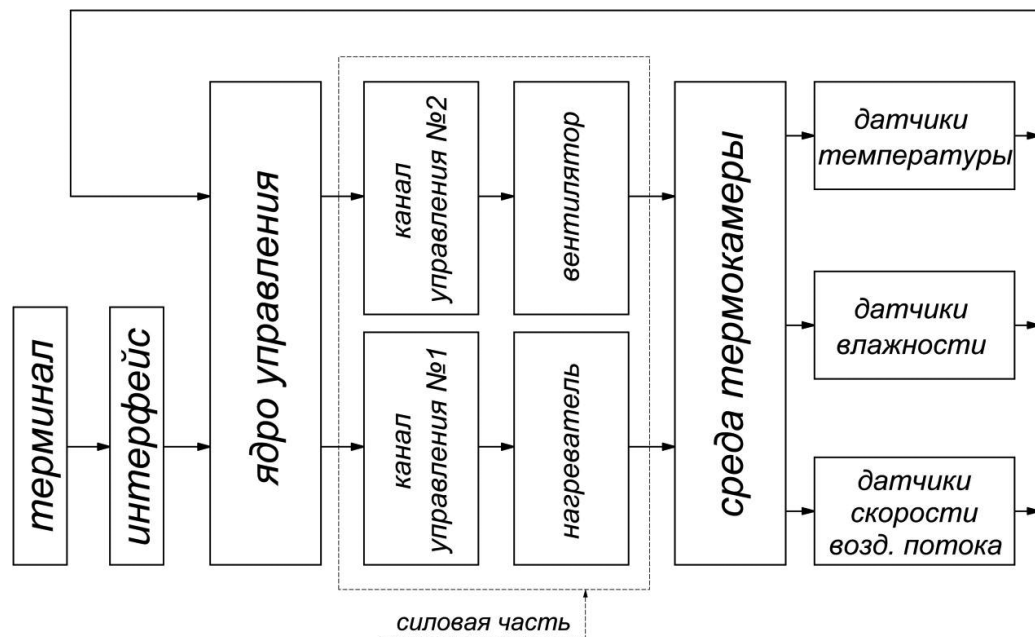


Рис. 1. Структура системы управления

Основным элементом системы управления, позволяющим регулировать мощность, отдаваемую в силовые элементы термоблюка (нагреватель, электровентилятор), и тем самым влиять на температурные режимы, является регулятор мощности, который разрабатывался с учетом необходимости его сопряжения с электронной системой управления. При выборе конструкции регулятора мощности учитывалось, что на нагрузку при мощности около 1,5 кВт требуется воздействовать длительно, причем желательно было обеспечить непрерывный характер управления. Очевидным решением задачи управления нагрузкой представлялось применение реле для коммутации. Но при указанной мощности и при условии длительного воздействия на нагрузку применять такую схему коммутации нецелесообразно, так как из-за частых переключений контактов реле в процессе управления они приходят в негодность из-за термомеханического разрушения. Также применение реле резко ограничило бы возможности управления нагрузкой и поддержания астатизма системы. Поэтому в качестве регулятора мощности был выбран тиристорный электронный регуля-

тор мощности, позволяющий использовать ШИМ сигнал для воздействия на нагрузку.

Для формирования управляющего ШИМ сигнала используется микроконтроллер, обеспечивающий в соответствии с законом управления поддержание состояния управляемой системы, задаваемого пользователем. Принцип управления на основе ШИМ дает возможность формировать законы управления, основанные на применении ПИД-регулятора, что позволяет значительно повысить точность управления по сравнению с релейным регулятором.

С целью обеспечения безопасности регулятор мощности изолируется от низковольтной части схемы гальванической развязкой на основе оптосимистора [3,4].

Для создания полноценной системы необходимо управлять как мощностью, отдаваемой в электронагреватель, так и скоростью воздушного потока на выходе силовой установки термобиокамеры, поэтому в процессе разработки системы управления было предусмотрено 2 канала управления: для электронагревателя и вентилятора.

В качестве управляющего элемента (на рисунке 1 – «Ядро управления») был применен однокристалльный микроконтроллер PIC18F4550 с аппаратной поддержкой шины USB [6]. Предусмотрена возможность работы термобиокамеры, оснащенной системой управления, в качестве испытательного стенда для обработки и хранения данных, полученных в ходе испытаний. Управление осуществляется посредством терминала с помощью специально разработанного программного обеспечения.

Для обеспечения полноты испытаний предусмотрена возможность подключения различных датчиков к системе управления, как цифровых, так и аналоговых, благодаря наличию АЦП в примененном микроконтроллере.

Алгоритмы управления, реализованные в системе управления, были созданы, как уже отмечалось, на основе ПИД-регулятора. При использовании только пропорционального управления достичь требуемых длительностей переходных процессов и точности управления не удавалось из-за наличия статической ошибки. Значение регулируемой величины никогда не стабилизировалось на заданном значении. Увеличение коэффициента усиления для уменьшения статической ошибки приводило к тому, что система теряла устойчивость. Для устранения статической ошибки была задействована интегральная составляющая, а для уменьшения длительности переходных процессов задействована дифференциальная составляющая [5].

Были осуществлены испытания системы, которые показали ее способность поддерживать температурные режимы с погрешностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$ в интервале влажности (20-40)% .

Схемотехническое решение, найденное в ходе создания макета системы управления термобиокамеры, может служить основой при создании системы управления, применимой в серийных образцах термобиокамеры.

Литература:

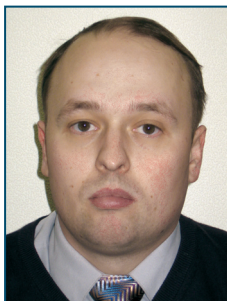
1. Массарский А.С. Баня в чемодане и её родственники. СПб. «Геликон Плюс», 1998.
2. Массарский А.С. Камера для снижения веса тела человека. Авт. свид. №237337. «Бюллетень изобретений». 1968, №8.
3. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. 7-ое изд., М. «Мир», 2009.
4. Рама Редди С. Основы силовой электроники. М. «Техносфера», 2006.
5. Юревич Е.С. Основы робототехники. 3-е изд. СПб. «БХВ-Петербург», 2010.
6. http://kazus.ru/nuke/pic/parts/PIC16_Manual.pdf; <http://www.microchip.ru/lit/?mid=1x0>.

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НОСИТЕЛЯ В РАДИОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ

Балтийский Государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



Ю.В. ПЕТРОВ
Доцент



В.А. РОГОЖИН
Доцент



С.Д. МАКСИМОВ
Начальник
лаборатории

Рассмотрен метод определения ошибок измерения скорости ЛА по смещению оценки функции отражающей поверхности. Приведены результаты компьютерного моделирования и натурного эксперимента, которые показали что точность определения скорости носителя рассматриваемым методом может быть не хуже 3-5 см/с.

Современные радиолокационные станции (РЛС) с цифровым синтезированием искусственной апертуры антенны (РСА) позволяют получать радиолокационные изображения (РЛИ) земной поверхности с высоким и сверхвысоким разрешением (1 метр и менее) на больших дальностях (более 100 км) при произвольной траектории полета носителя и практически любых погодных условиях. При этом одним из основных источников снижения эффективности работы РСА являются искажения траекторного сигнала, обусловленные различными дестабилизирующими факторами. Один из таких факторов – это фазовые искажения, возникающие из-за ошибок в измерении радиальной скорости движения носителя. Известно [1,2], что ошибки измерения скорости приводят к смещениям синтезируемых РЛИ по азимуту, что, в свою очередь, ведет к ошибкам определения координат целей и ошибкам совмещения парциальных кадров при построении больших РЛИ. Причем чем выше потенциальные характеристики системы синтеза, тем влияние этих ошибок на ее реальные характеристики сильнее.

Вопрос о величине допустимых ошибок определения собственной скорости носителя при выполнении синтеза искусственной апертуры ан-

тенны рассмотрен в работе [3], в которой показано, что допустимые ошибки определения собственной скорости на интервале синтезирования различны и существенно зависят от параметров работы РСА (заданное разрешение, углы обзора, дальность до поверхности), но в любом случае не должны превышать 10-20 см/с. В некоторых случаях требования к величине ошибки повышаются до единиц сантиметров в секунду. К сожалению, точность определения скорости современными навигационными комплексами, хотя и является достаточной для работы РСА, но все равно ограничивает ее потенциальные возможности.

Б.С. Мушем был предложен метод оценки навигационных ошибок, основанный на геометрическом критерии - по смещению оценки функции отражающей поверхности (ФОП), получаемой на борту носителя РСА в реальном времени. Метод предполагает определение поправки к проекции скорости летательного аппарата (ЛА) на направление обзора подстилающей поверхности, которая определяется при помощи штатных навигационных систем. Теоретическое обоснование метода и анализ его точностных характеристик представлены в ряде публикаций [3,4,5].

Метод оценки навигационных ошибок основан на следующих предположениях:

- ошибка определения скорости носителя РСА постоянна на интервале синтезирования искусственной апертуры антенны;
- наличие постоянной на интервале синтезирования ошибки вызывает сдвиг оценки ФОП по азимуту;
- величина и знак сдвига оценки ФОП пропорциональны проекции ошибки определения скорости на направление обзора;
- при отсутствии ошибки определения скорости центр тяжести оценки ФОП находится в середине интервала оценки.

В работе [4] показано, что ошибка проекции скорости ЛА на направление обзора подстилающей поверхности определяется следующим выражением:

$$\delta W_{\Pi y} = \frac{W_{\Pi x}}{|y_{0m} - Y_0|} \cdot \delta x_0, \quad (1)$$

где: $W_{\Pi x}$ – проекция вектора скорости на ось, перпендикулярную направлению обзора подстилающей поверхности и лежащую в плоскости изображения, м/с; δx_0 – смещение изображения по азимуту, м; Y_0 – проекция радиус-вектора текущего положения фазового центра антенны на ось, совпадающую с направлением обзора подстилающей поверхности (далее ось O_y); y_{0m} – координата m -го дискрета в массиве изображения по оси O_y в системе координат изображения.

Центр тяжести каждой полосы дальности определяется:

$$I_Q = \frac{\sum_{n=1}^{N_A} f_Q(n) \cdot n}{\sum_{n=1}^{N_A} f_Q(n)}, \quad (2)$$

где: N_A – число отсчетов по азимуту в массиве изображения (число столбцов); I_Q – смещение центра тяжести Q -й полосы дальности; Q – номер полосы дальности; f_Q – массив изображения; n – текущий отсчёт.

Смещение изображения по азимуту оценивается по смещению усредненного центра тяжести всех полосок дальности.

Из выражений (1) и (2) следует, что основным фактором, влияющим на точность определения поправки проекции скорости на направление обзора, является ошибка определения усредненного центра тяжести изображения.

С целью определения точностных характеристик разработанного метода определения навигационных ошибок по оценке ФОП при различных направлениях обзора, дальностях до отражающей поверхности, статистических характеристиках оценки ФОП был выполнен ряд теоретических исследований [6,7].

Установлено, что для уменьшения среднеквадратического отклонения ошибки определения поправки проекции скорости носителя на направление обзора надо:

- обеспечивать малый дискрет оценки ФОП по азимуту на больших дальностях;
- уменьшать угол обзора в азимутальной плоскости;
- повышать точность определения сдвига центра тяжести оценки ФОП;
- уменьшать размер оценки ФОП по азимуту и увеличивать размер по дальности.

Выполнен анализ влияния пространственной корреляции дискретных отсчетов оценки ФОП на точность определения ее центра тяжести [6]. При наличии пространственной корреляции дискретных отсчетов массива оценки ФОП дисперсия оценки его центра тяжести, а следовательно, и ошибка определения поправки скорости, увеличивается. Так, например, если коэффициент пространственной корреляции равен 0.7, а размеры массива оценок ФОП 128 на 512 значений, то величина среднеквадратического отклонения (СКО) ошибки оценки центра тяжести равна 0.4. При увеличении коэффициента пространственной корреляции до 0.9 (что соответствует, например, спокойной водной поверхности) величина СКО ошибки увеличивается более чем в 2 раза.

С целью получения точностных характеристик метода определения навигационных ошибок по смещению оценки ФОП при различных законах ее распределения выполнен соответствующий анализ и установлено, что в случае, если оценка ФОП подчиняется закону распределения Релея-Райса или нормальному закону распределения, то среднеквадратическое отклонение ошибки определения ее центра тяжести уменьшается по сравнению со случаем распределения оценки ФОП по закону Релея. Если дискретные отсчеты оценки ФОП подчиняются логарифмически-нормальному закону, что характерно для морских поверхностей, то среднеквадратическое отклонение ошибки определения ее центра тяжести увеличивается по сравнению с релеевским случаем более чем в 2 раза.

Для проверки правильности теоретических выводов и возможности практического применения предложенного метода оценки навигационных ошибок был разработан соответствующий алгоритм, выполнено компьютерное моделирование и экспериментальное натурное исследование алгоритма.

Полученные при помощи компьютерного моделирования результаты исследования точностных характеристик метода позволяют сделать следующие выводы:

1. Исследования метода и алгоритма определения поправки проекции скорости носителя при различных параметрах обзора и полета носителя показали, что точность определения поправки проекции скорости составляет от 65% до 80% от величины ошибки определения скорости. Это позволяет уменьшить величину ошибки в 3 – 5 раз. С увеличением угла азимута точность определения поправки проекции скорости снижается. Изменение угла места и дальности до отражающей поверхности практически не влияет на точность определения поправки проекции скорости. На рисунке 1 полученные результаты исследования влияния угла азимута на точность представлены графически. На графике построена зависимость относительной точности определения поправки проекции скорости (в процентах от ошибки измерения проекции скорости) от угла азимута. На графике для каждого значения построен доверительный интервал $\pm 2\sigma$.
2. Для повышения точности метода необходимо повышать точность определения центра тяжести оценки ФОП. Для этого необходимо уменьшать ее размер по азимуту и увеличивать число полосок дальности. При этом точность определения центра тяжести будет тем выше, чем меньше степень корреляции дискретных отсчетов оценки ФОП. Результаты исследования влияния размера оценки ФОП на точность определения ее центра тяжести представлены в таблице 1 (первое значение размера оценки ФОП – размер по азимуту).

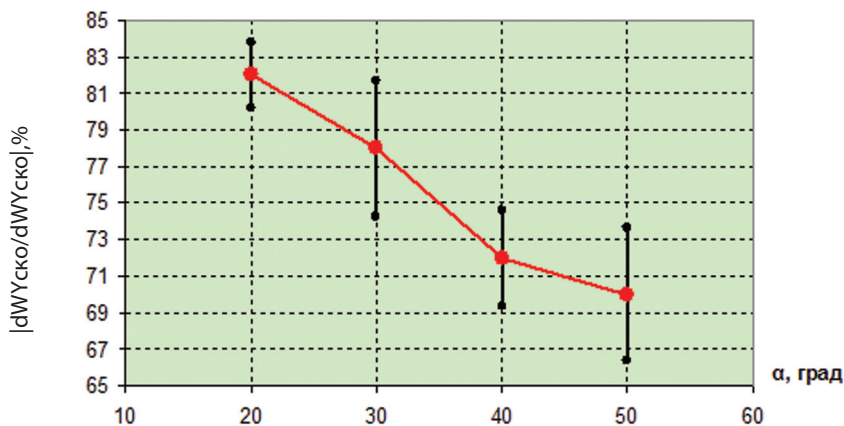


Рисунок 1. Влияние угла азимута на точность определения поправки проекции скорости

Таблица 1.

**Результаты исследования влияния размера оценки ФОП
на точность определения ее центра тяжести**

Размер оценки ФОП	Расчетное значение средне- квадратического отклонения центра тяжести	Экспериментальная оценка среднеквадратического откло- нения центра тяжести
128*64	0.213	0.207
64*128	0.107	0.114
128*128	0.151	0.155

В связи с отсутствием на борту эталонного измерителя скорости, точность которого должна на порядок превышать потенциальную точность исследуемого алгоритма, натурные эксперименты выполнялись по следующей методике:

1. На прямолинейном участке полета, когда скорость изменения ошибки измерения скорости минимальна, измеряются несколько значений поправки скорости (оценки ошибки измерения скорости).
2. В навигационные данные, получаемые из пилотажно-навигационного комплекса, вводится известная ошибка.
3. Выполняется оценка внесенной ошибки измерения скорости.

Ниже представлены результаты проведенного экспериментального исследования. Известная ошибка добавлялась последовательно к трем проекциям вектора скорости ЛА. При этом x , z – проекции скорости в горизонтальной плоскости, y – вертикальная составляющая. Величина добавляемой ошибки составляла 2 м/с. После того, как исследуемый алгоритм выдавал несколько значений оценки поправки к проекциям скорости, специально добавленная

ошибка убиралась, и система продолжала работать в штатном режиме. Эксперимент по каждой из проекций повторялся несколько раз, при этом наблюдалась достаточно высокая повторяемость результатов. Результаты эксперимента в графическом виде представлены на рисунках 2 – 4 (вертикальная ось – значение оценки ошибки (м/с), горизонтальная – номер измерения).

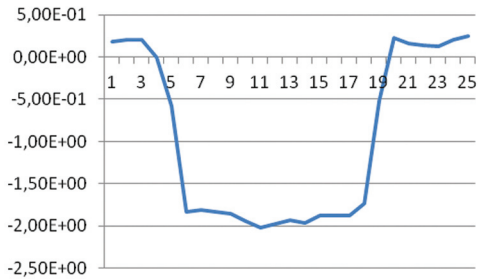


Рисунок 2. Оценка ошибки измерения скорости (2 м/с) по координате X

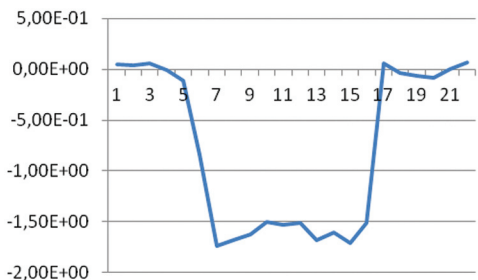


Рисунок 3. Оценка ошибки измерения скорости (2 м/с) по координате Z

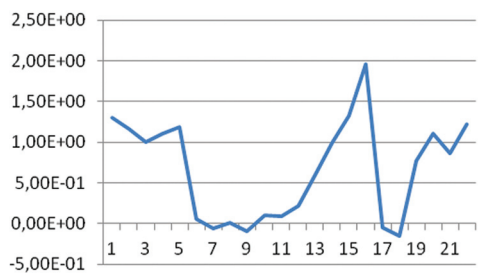


Рисунок 4. Оценка ошибки измерения скорости (2 м/с) по координате Y

По результатам экспериментальных натурных исследований можно сказать, что:

- Оценка поправок к проекциям скорости в горизонтальной плоскости выполняется с достаточно высокой точностью. Ошибка оценивается с точностью не хуже 80% от величины этой ошибки. Так, в представленном примере на рисунке 2 среднее значение оценки ошибки равно 1,89 м/с (при введенной известной ошибке 2 м/с) со среднеквадратическим отклонением (СКО) 0,1 м/с. В примере на рисунке 3 среднее значение ошибки равно 1,7 м/с, а СКО равно 0,18 м/с.
- Реакция на изменение ошибки в вертикальной плоскости слабая и по величине не соответствует исходным данным (рисунок 4). Это может быть объяснено невозможностью обеспечить большие углы обзора в вертикальной плоскости.

В результате теоретического исследования разработанного метода оценки навигационных ошибок установлено, что основным фактором, влияющим на его точность, является ошибка определения центра тяжести оценки ФОП. Эта ошибка в свою очередь существенно зависит от величины дискрета оценки ФОП, углов обзора поверхности, размеров

оценки ФОП, характера подстилающей поверхности и других факторов. При этом проведенный в работах [4-7] теоретический анализ позволяет сделать

вывод о том, что точность определения скорости носителя рассматриваемым методом может быть не хуже 3-5 см/с.

Проведенное компьютерное моделирование разработанного на основе метода алгоритма определения поправок проекций скорости подтвердило правильность теоретических выводов.

Результаты натурного эксперимента также подтвердили работоспособность предложенного метода и алгоритма оценки навигационных ошибок, хотя точность оценки ошибки скорости в проведенных экспериментах оказалась несколько хуже, чем при теоретических исследованиях и компьютерном моделировании. Это может быть объяснено ограничениями на выбор углов обзора поверхности и выбор размера формируемой оценки ФОП. Несмотря на это, в проведенных экспериментах удалось уменьшить ошибку определения скорости носителя в горизонтальной плоскости не менее чем в пять раз.

Литература:

1. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю.; под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005. – 368с.
2. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов, А. Н. Кулин и др. ; под. ред. В. Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
3. Рогожин В.А. Оценка допустимых величин ошибок определения проекции скорости ЛА при синтезировании апертуры антенны. // Актуальные вопросы ракетно-космической техники и технологий: Сб. трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ. Вып. 4 / Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2006.
4. Муш Б. С., Рогожин В. А. Определение поправки проекции скорости летательного аппарата по оценке функции отражающей поверхности // III международный симпозиум «Аэрокосмические приборные технологии», 2-4 июня, 2004 г. : сб. материалов. – СПб, 2004.– С. 33–36.
5. Vasilij A. Rogozhin The definition of correction of aircraft velocity projection by the function of reflecting surface estimate displacement // XI International Scientific – Research Conference “Radiolocation Navigation Communications”, NPF “SAKVOEE”, 2005, Voronezh. – С. 35–42.
6. Vasilij A. Rogozhin, Mikhail V. Vishentsev, Yury V. Petrov A definition of aircraft velocity projection correction from the synthesized radar image of earth surface // Proc. of SPIE, 2004, v.5447. – ISBN 0-8194-5370-6. – p. 365–374.
7. Рогожин В. А., Петров Ю. В., Стукалова А. С. Статистические характеристики одного из параметров оценки функции отражающей поверхности бортового радиолокатора // Актуальные вопросы управления в организационно-технических системах : сб. трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ / под общ. ред. С. М. Стажкова. – СПб.: БГТУ, 2005. – Вып.3. – С. 65–67.

МИКРОНАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАТОРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Балтийский Государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



С.Н. АНИКИН

Научный сотрудник



Ю.В. ПЕТРОВ

Доцент

Данная статья посвящена разработке и исследованию системы микронавигации бортового радиолокатора высокого разрешения, предназначенной для высокоточного определения траектории движения точки подвеса антенны на относительно небольших интервалах времени (интервалах синтезирования). Приводится структура системы, а также результаты компьютерного моделирования и натурных экспериментов.

Одной из задач многофункционального бортового радиолокатора переднего обзора (РПО) летательного аппарата (ЛА) является обнаружение малоразмерных наземных и морских целей на значительном удалении и одновременно в широкой полосе обзора, независимо от метеоусловий и естественной освещенности. Для обеспечения данной задачи необходимо получить высокую разрешающую способность по дальности и углу. Проблема высокого разрешения по дальности решается использованием сложных зондирующих сигналов с широкополосным спектром, а по углу – методом синтезирования искусственной апертуры антенны 1, 4. Идея метода получения высокого углового разрешения при малых размерах реальной антенны основана на формировании большой апертуры искусственной антенны на борту ЛА. Для этого апертура формируется последовательно во времени при полете самолета по определенной, точно известной траектории путем запоминания отраженного от объекта электромагнитного поля – амплитуды и фазы траекторного сигнала.

Выдерживание такой траектории носителя радиолокационной станции (РЛС) в процессе синтезирования апертуры на интервале в сотни метров

с точностью несколько миллиметров необходимо для обеспечения когерентного (синфазного) сложения сигналов. Это казалось фантастикой для высокодинамичных объектов. Однако, как показали летные эксперименты, самолет, благодаря своей инерционности, перемещается при полете без маневра в невозмущенной атмосфере строго по прямолинейной траектории [2].

Синтезирование апертуры при маневрировании и полете в возмущенной атмосфере возможно при использовании специальных новых систем измерения траектории полета, которые называют системами микронавигации (МН). Их задачей, в отличие от систем традиционной навигации, является высокоточное оценивание навигационных параметров (НП) движения точки подвеса антенны (ТПА) на относительно небольшом интервале времени (синтезирования) в системе координат (СК), не связанной с Землей. Одним из основных требований к системам МН является обеспечение целостности и надежности выдаваемой навигационной информации.

В реальных условиях работы РЛС с синтезированной апертурой антенны (РСА) имеют место искажения траекторного сигнала, вызванные различными дестабилизирующими факторами. Они могут быть как амплитудными, так и фазовыми, и вызывают, в конечном счете, искажения получаемого радиолокационного изображения (РЛИ). Амплитудные искажения траекторного сигнала носят медленный характер, и за счет их малого изменения влиянием данных искажений обычно пренебрегают.

К фазовым искажениям, в основном, приводят нестабильности: распространения радиоволн, приемопередающего тракта и систем обработки, а также движения ЛА. Наибольший вклад вносят траекторные нестабильности, упругие колебания корпуса носителя РСА и ошибки измерителей параметров движения ЛА. Суммарное среднеквадратическое отклонение фазовых искажений от них может достигать десятков и сотен градусов [2], поэтому основной задачей при получении высокого разрешения становится снижение ошибок оценивания параметров траектории движения ТПА.

Высокоточная оценка траектории носителя РСА в пределах интервала синтеза необходима для оценки изменения расстояния во времени от РЛС до наблюдаемого объекта и расчета опорной функции. Ошибки оценки радиальной скорости и радиального ускорения движения ТПА на интервале синтеза приводят к тому, что формируемая опорная функция оказывается рассогласованной с отраженным сигналом.

Ошибки измерения радиальной скорости зависят, в свою очередь, от ошибок определения составляющих скорости в выбранной СК, используемой в качестве опорной в системе МН.

Случайные изменения параметров движения ТПА в результате различного вида возмущений в атмосфере, траекторных нестабильностей и упругих колебаний носовой части самолета, где располагается бортовая РЛС, пред-

ставляют собой быстроменяющиеся широкополосные процессы. В свою очередь, штатные навигационные системы (в первую очередь инерциальная навигационная система (ИНС) и доплеровский измеритель скорости и угла сноса) предназначены для определения местоположения ЛА в географической СК. Поэтому их полосу пропускания выбирают гораздо более узкой, чтобы измерять лишь низкочастотные движения самолета и, таким образом, повысить точность навигации. Кроме того, штатные системы навигации располагаются вблизи центра масс ЛА, что вызывает отличие НП движения центра масс от параметров движения ТПА из-за угловых и упругих колебаний корпуса. Ясно, что такие особенности не позволяют использовать в системе МН только штатные системы. Необходимо иметь на борту ЛА широкополосные навигационные измерители, которые целесообразно располагать, по возможности, как можно ближе к ТПА РСА.

В результате проведенного анализа бортовых навигационных систем был определен следующий состав навигационных датчиков, используемых в системе МН. Во-первых, в качестве автономных измерителей были выбраны две инерциальные системы: одна платформенного типа - ИНС, входящая в штатный навигационный комплекс ЛА, а другая бесплатформенного - БИНС. Кроме того, в дополнение к ним использовался фазовый приемник спутниковых навигационных сигналов систем GPS и ГЛОНАСС, антенна которого размещалась возле ТПА бортового радиолокатора. В качестве еще одного источника информации о параметрах движения ТПА в системе МН использовались данные, получаемые от так называемой информационной задачи (ИЗ) «Скорость». Данная задача использует метод определения поправок к проекции скорости в направлении обзора по сдвигу РЛИ, формируемого на борту ЛА в реальном времени.

Для интеграции этого состава навигационных датчиков была выбрана инвариантная сильносвязанная схема комплексирования [3], на основе которой можно получить более высокую потенциальную точность и надежность измерений по сравнению со слабосвязанной и которой не требуется априорных знаний о динамике движения ЛА.

Исходя из выбранного состава датчиков и метода их комплексирования, была предложена следующая структура системы МН (рис. 1).

Для реализации предложенной структуры системы МН были синтезированы следующие алгоритмы: совместной обработки информации инерциальных систем платформенного и бесплатформенного типов, размещенных в различных точках ЛА; обработки информации приемника СНС; алгоритм НФ, использующего в качестве дополнительного источника информации о скорости движения носителя РПО ИЗ «Скорость».

Для проверки эффективности разработанных алгоритмов, оценки их точности и надежности оценивания НП движения ТПА был проведен ряд

экспериментов. Вначале было осуществлено математическое моделирование алгоритмов на ПК, позволяющее учесть различные факторы и возмущения. Для его проведения разработаны математические модели самой системы МН, модели формирования измерительных данных, поступающих в нее для обработки, и соответствующее программное обеспечение. К сожалению, математическое моделирование не всегда позволяет достаточно точно воспроизводить условия, в которых работают реальные навигационные датчики, поэтому был проведен ряд полетных исследований системы МН. Основной недостаток таких экспериментов при оценке точности заключается в невозможности регистрации «истинной» траектории движения.

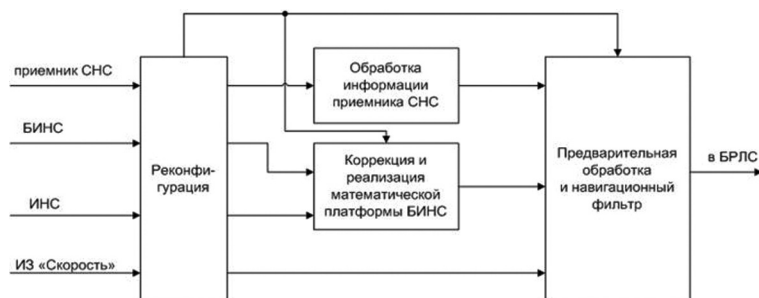


Рис. 1. Структура системы МН

Ниже приведены результаты исследования точностных характеристик разработанной системы МН на персональном компьютере (ПК) и их оценка в полетных испытаниях.

Для моделей навигационных датчиков были приняты ошибки, отражающие их характеристики с параметрами, близкими к паспортным данным. Частота выдачи данных от приемника СНС составляла 1 Гц, а от ИНС и БИНС – 100 Гц. Осуществление математического моделирования системы МН на ПК проводилось как за счет использования только навигационных систем, так и с привлечением данных от модели ИЗ «Скорость».

При синтезировании искусственной апертуры антенны наибольший вклад в искажение РЛИ вносит ошибка оценивания радиальной скорости [2]. При обзоре «вперед» на больших расстояниях значения углов азимута и места будут иметь значения менее 10-20 градусов, поэтому в суммарной ошибке существенный вес будет иметь ошибка оценивания продольной составляющей скорости ТПА, а именно проекция скорости W_x в СК, связанной с ЛА, которая условно названа горизонтированной СК (ГСК). ГСК является неподвижной: направления ее осей на время синтезирования искусственной апертуры антенны фиксируются в пространстве. В конечном счете, все преобразования НП движения ТПА производятся в данную СК на время ее существования. Таким образом, на выходе НФ и в целом всей си-

системы МН получают координаты и проекции скорости ТПА в ГСК. Ее назначение позволяет «сбросить» накопившиеся ошибки по координатам. Центр ГСК в пространстве совпадает с ТПА на момент времени назначения данной СК, а направления осей назначаются так: ось X_T параллельна проекции продольной оси самолета на плоскость горизонта, направление оси Y_T совпадает с местной вертикалью, а ось Z_T образует с ними правую тройку.

В связи с вышеизложенным далее для иллюстрации результатов исследований системы МН на ПК приведены только составляющие скорости W_x ТПА в ГСК.

При проведении исследований время моделирования составляло 30 секунд. Назначение ГСК производилось через 1 с после начала моделирования, а формирование РЛИ - через 7 с.

Из рис. 2 видно, что начальные ошибки определения проекции скорости ИНС и БИНС составляли величины порядка 0,4 м/с. По истечении времени моделирования они возросли до 0,65 и 1,3 м/с для ИНС и БИНС соответственно.

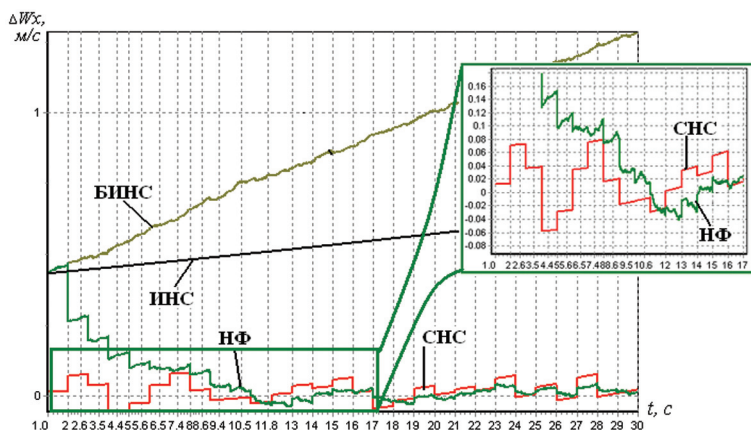


Рис. 2. Ошибки оценивания продольной составляющей скорости ТПА ЛА W_x

Начальную ошибку ИНС НФ отрабатывал в течение порядка 8-9 с (переходной процесс фильтра), по завершении которого до конца времени моделирования ошибка оценки проекции скорости не превышала по модулю 0,04 м/с.

На рис. 3 представлен результат работы алгоритма реконфигурации, который при пропадании информации от приемника СНС (с 14 по 22 с) на основе формируемого управляющего слова переводит НФ из режима коррекции в режим прогноза. При этом ошибка оценивания проекции скорости приемником СНС за счет «замораживания» измерений возросла практически до 0,7 м/с. Однако благодаря поступающей информации от чувствительных элементов (ЧЭ) БИНС, ее отсутствие не оказало практически никакого воз-

действия на работу НФ, ошибка оценивания проекции скорости не превысила 0,02 м/с.

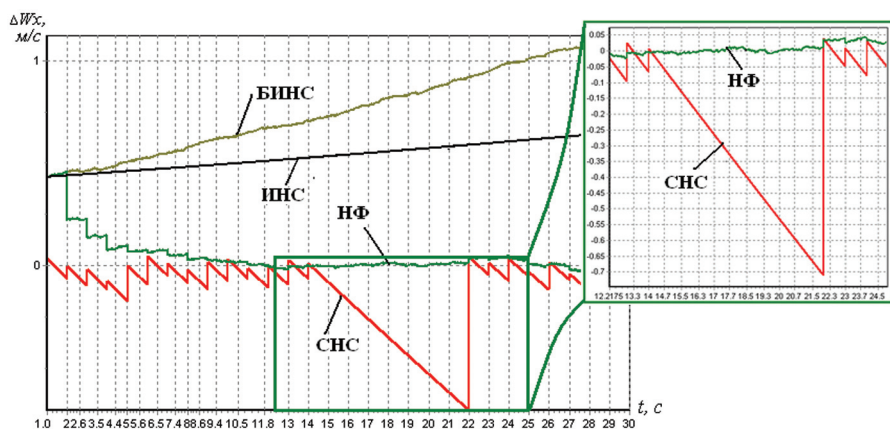


Рис. 3. Ошибки оценивания продольной составляющей скорости ТПА ЛА W_x при пропадании информации от приемника СНС

Ниже приведены результаты работы системы МН при пропадании информации от приемника СНС во время переходного процесса фильтра (с 4-й по 9-ю секунду). Из рис. 4 видно, что при этом ошибка оценивания проекции скорости НФ возросла практически в 2 раза с 0,13 до 0,26 м/с.

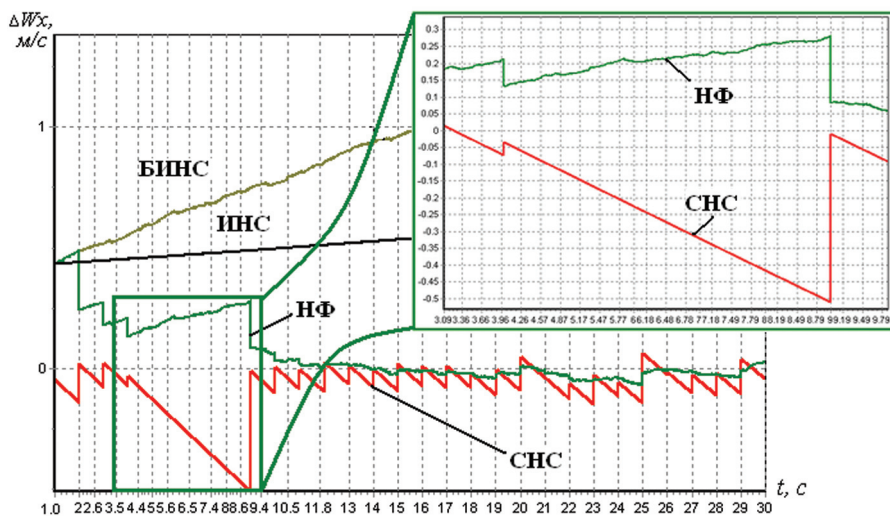


Рис. 4. Ошибки оценивания продольной составляющей скорости ТПА ЛА W_x при пропадании информации от приемника СНС во время переходного процесса НФ

Если в это время решается ИЗ «Скорость» (рис. 5), то поступающая от нее информация позволяет завершить переходной процесс и снизить нака-

пливающуюся ошибку БИНС. Ошибка оценивания проекции скорости НФ не превысила уровень 0,13 м/с (при отсутствии информации от приемника СНС) и 0,03 м/с (при ее восстановлении).

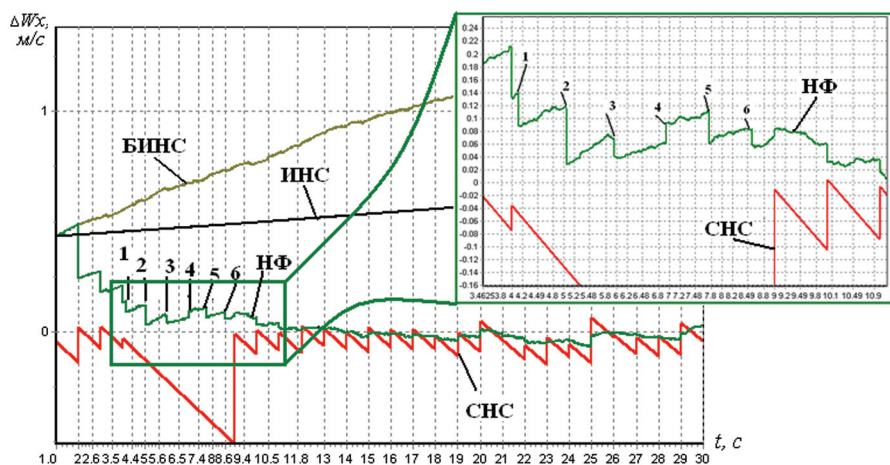


Рис. 5. Ошибки оценивания продольной составляющей скорости ТПА ЛА W_x при пропадании информации от приемника СНС и использовании в НФ информации от ИЗ «Скорость»

Завершающим этапом экспериментальных исследований системы МН стала проверка ее алгоритмов по регистрациям НП от реальных датчиков, записанным на борту самолета-лаборатории.

Запись НП инерциальных систем проводилась во время всего полета, начиная со стоянки. Регистрация сообщений приемника СНС осуществлялась периодически в течение нескольких десятков минут. Каждый полет самолета-лаборатории производился с большим количеством поворотов, разворотов с закладыванием крена и другими маневрами. Это приводило к тому, что число спутников, попадающих в зону видимости антенны приемника СНС, изменялось во времени, причем существовали моменты, когда информация от них вообще пропадала. Этот факт позволил провести исследования алгоритмов системы МН в различных режимах ее работы, в т.ч. при отсутствии информации от приемника СНС.

На рис. 6 представлен характерный участок полета ЛА, когда самолет совершает вираж. При этом из-за крена ЛА возникают ситуации, когда информация от навигационных спутников либо вообще пропадает, либо ее становится недостаточно для решения приемником СНС навигационной задачи. Это видно по довольно продолжительным горизонтальным прямым линиям в измерениях приемника СНС (по времени порядка 10-20 с).

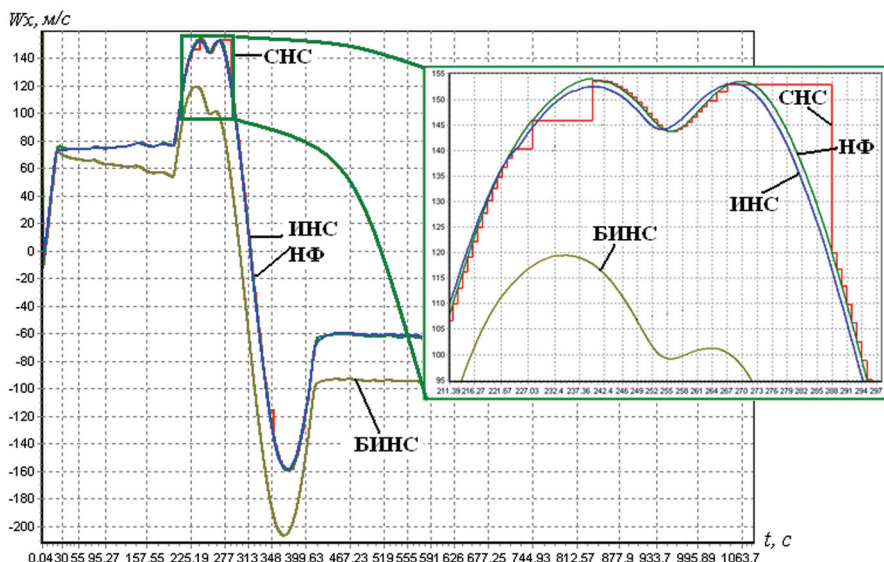


Рис. 6. Оценка продольной составляющей скорости ТПА ЛА W_x навигационными датчиками по результатам полетных испытаний

За счет использования «сырых» измерений (данных о псевдоскоростях до всех видимых спутников) и вычисленных по показаниям ЧЭ БИНС, алгоритм НФ позволяет надежно оценивать проекции скорости ТПА ЛА. Из рис. 6 видно, что ИНС, входящая в штатный навигационный комплекс, также позволяет надежно определять НП движения, но другой точки - центра масс, что видно по отличию показаний ИНС и приемника СНС при поворотах ЛА.

На рис. 7 представлены результаты расчета НП движения ТПА реальным бортовым вычислителем, установленным на борту самолета-лаборатории, на основе запрограммированных в него алгоритмов работы системы МН. В полете несколько раз происходило переназначение новой ГСК с промежутком примерно в 1 минуту.

Математическое моделирование и полетные испытания показали, что предложенная система МН позволяет снизить накапливающуюся ошибку в показаниях ЧЭ инерциальных систем и оценивать скорость движения ТПА с максимальной ошибкой, не превышающей 3-5 см/с и доверительной вероятностью 0,997, в т.ч. и в период пропадания измерений приемника СНС (по окончании переходного процесса НФ). Кроме этого, математическое моделирование показало, что данные ИЗ «Скорость» позволяют эффективно бороться с накапливающейся ошибкой инерциальных систем в период пропадания измерений приемника СНС (в т.ч. и во время переходного процесса НФ) и снижать максимальную ошибку оценивания проекций скорости ТПА. Так, по результатам эксперимента во время переходного процесса НФ

максимальная ошибка с доверительной вероятностью 0,997 была снижена в 2 раза с 0,26 до 0,13 м/с, а после его окончания не превысила 0,03 м/с.

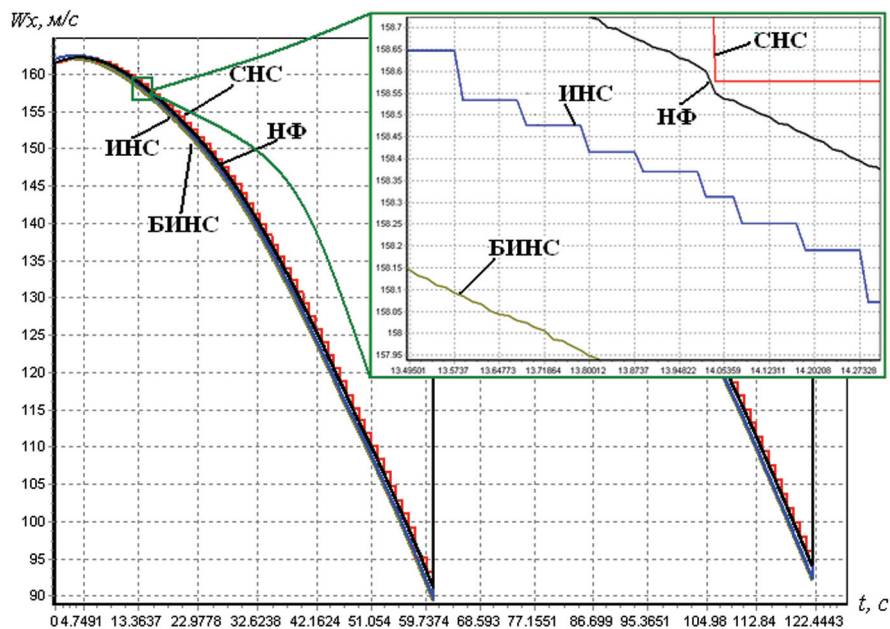


Рис. 7. Оценка продольной составляющей скорости ТПА ЛА W_x навигационными датчиками и системой МН на борту ЛА

Литература:

1. Вишенцев М.В., Аникин С.Н., Стукалова А.С. Анализ методов когерентной обработки сигналов в радиолокаторах с синтезированной апертурой антенны на малых углах визирования и произвольном движении носителя. Тезисы докладов конференции «Лазеры. Измерения. Информация» / Под ред. В.Е. Привалова. - Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2006. 103с. – с.93-95.
2. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие для вузов / Под ред. Г.С. Кондратенкова. – М.: «Радиотехника», 2005. – 368с.
3. Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации: Сб. ст. и докл./Сост. О.А. Степанов; Под общ. ред. акад. РАН В.Г. Пешехонова. - СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2001.
4. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / Под ред. В. Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВНЕШНЕБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СНАРЯДА НА ТРАЕКТОРИИ

Балтийский Государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова



И.А. ЗИБОРОВ
к.т.н.

Предлагается способ повышения информативности радиолокационных внешнебаллистических измерений параметров снаряда на траектории на основе комплексного анализа сигналов вторичного излучения.

Спектр регистрируемых параметров при испытаниях артиллерийских систем довольно широк. Одним из основных параметров, позволяющих произвести качественную и количественную оценку внешнебаллистических свойств артиллерийской системы и снаряда, является измеренное значение скорости снаряда в начале прямолинейного участка траектории. В практике полигонных испытаний находят применение два метода измерения скорости снаряда — контактный и бесконтактный. Каждый из методов включает в себя несколько способов, обладающих рядом достоинств и недостатков. Наиболее информативным и, как следствие, наиболее используемым является радиолокационный способ, основанный на эффекте Доплера.

Основными достоинствами данного способа являются:

- Обеспечивает большое количество точек измерения на траектории и, как следствие, позволяет получить данные относительно динамики изменения скорости снаряда.
- Позволяет проводить измерения при различных углах стрельбы.
- Не требует никаких доработок снаряда и практически не зависит от калибра снаряда.

Артиллерийская баллистическая станция (АБС-1М) является наиболее распространенной доплеровской радиолокационной станцией (ДРЛС), используемой в практике полигонных испытаний для измерения начальной скорости снаряда. Данная ДРЛС при вылете снаряда из канала ствола позволяет произвести два измерения значения скорости (V_i) в i -точках, с заданной задержкой и заданным интервалом.

На основании полученных данных осуществляется пересчет значения скорости снаряда на уровень среза канала ствола (V_0). В основу данного расчета положена основная функция Сиаччи $D(V)$, вычисленная по закону со-

противления воздуха 1943 года. Важнейшей исходной характеристикой для этого расчета является коэффициент формы снаряда.

При сверхзвуковых скоростях полета снаряда ошибка определения величины коэффициента формы может привести к заметному ухудшению точности вычисления дульной поправки. Это подтверждается результатами измерений, полученных на основе баллистической станции ЛУЧ-СМ, обеспечивающей регистрацию двадцати значений скорости (V_i) с постоянным шагом.

Нестабильность величины (V_0), приведенной к срезу канала ствола из разных точек начального участка траектории, вносит ошибку выбора коэффициента формы и, следовательно, определения расчета (V_0).

$$V_{0i} = V_i + \frac{I_{cp} \cdot d^2 \cdot 10^4 \cdot X_i}{q \cdot \Delta D(V)_i} \cdot \frac{h_0 \cdot \tau_{0N}}{h_{0N} \cdot \tau_0} + g \cdot t_i \cdot \sin \theta,$$

где:

V_{0i} – приведенное значение начальной скорости в i – точке;

V_i – измеренное значение скорости в i – точке;

I_{cp} – среднее значение коэффициента формы.

Для определения среднего значения коэффициента формы необходимо определить коэффициент формы в каждой i - точке по следующей формуле:

$$I_i = (V_0 - V_i - g \cdot t_i \cdot \sin \theta) \cdot \frac{q \cdot \Delta D(V)_i}{d^2 \cdot 10^4 X_i} \cdot \frac{h_{0N} \cdot \tau_0}{h_0 \cdot \tau_{0N}},$$

Из данных формул видно, что для расчета дульной поправки и получения приведенного к дульному срезу значения начальной скорости (V_0) нам необходимо знать и учитывать большое количество величин:

g – ускорение силы тяжести;

θ – угол бросания;

q – вес снаряда;

d – калибр снаряда;

$\Delta D(V)$ – приращение функции Сиацци для закона сопротивления воздуха 1943 г.;

h_{0N} – нормальное атмосферное давление;

h_0 – атмосферное давление на уровне земли;

τ_{0N} – нормальная температура воздуха;

τ_0 – температура воздуха на уровне земли;

X_i – расстояние до снаряда в измеренной i – точке.

Все величины имеют свои погрешности, что сказывается на конечном результате, получаемом аналитическим путем, а как следствие и коэффициенте формы (I) и баллистическом коэффициенте (C).

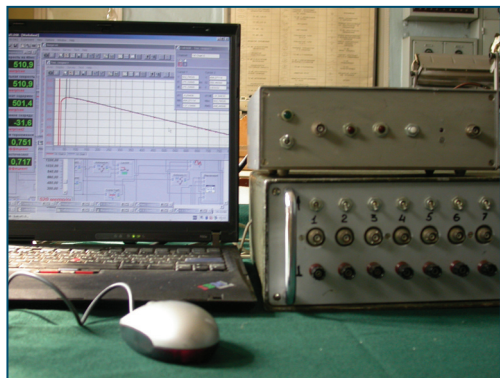


Рисунок 1 – Измерительно-вычислительный комплекс

С целью устранения вышеперечисленных недостатков, а также повышения достоверности и информативности внешнебаллистических измерений, предлагается использовать измерительно-вычислительный комплекс на базе (рисунок 1):

- первичного измерительного преобразователя на базе АБС;
- регистратор на базе ПЭВМ типа IBM;
- объектно-ориентированного программного продукта «Desi Lab».

На основе объектно-ориентированного программного продукта «Desi Lab» разработан алгоритм обработки всего доплеровского сигнала, несущего в себе всю информацию о начальном участке траектории снаряда. Разработанный ИВК, на основе используемого программного продукта, позволяет производить анализ:

- момента вылета снаряда из канала ствола;
- времени действия и периода последствий пороховых газов на снаряд;
- значения скорости снаряда в любой момент времени записанного участка траектории (рисунок 2).

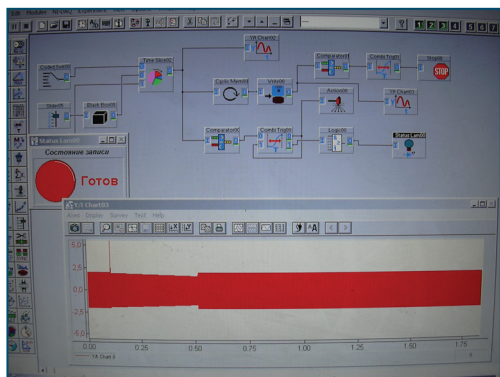


Рисунок 2 – Алгоритм и полученное значение изменения скорости снаряда

На основе анализа полученных данных в реальном масштабе времени возможно осуществить расчет коэффициента аэродинамического сопротивления, определить коэффициент торможения (C_r), а следовательно, прогнозировать траекторию снаряда до точки падения.

Необходимо отметить, что получаемый таким образом баллистический коэффициент (C) (начального участка траектории) несет информацию об

износе канала ствола орудия, износе механизма досыла, перекосе снаряда в момент досыла и т.д.

Предложенный ИВК позволяет значительно повысить информативность получаемых результатов измерений и, как следствие, эффективность полигонных испытаний артиллерийских систем.

Литература:

1. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007. -376с., ил.
2. Д.Бартон, Г. Вард: Справочник по радиолокационным измерениям. Пер. с англ. под ред. М.М. Вейбейна. М. , «Сов.радио», 1976.



**ПРОИЗВОДСТВЕННО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС
«ПРОГРЕСС»**

ПУТИ СТАНОВЛЕНИЯ И ОСНОВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ РАСШИРЕНИЯ СПЕКТРА НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК И ОРГАНИЗАЦИИ ИХ СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА



В.И. ЧАШИН

*Заместитель генерального директора
по производству
директор ПТК «Прогресс»*



Б.А. СМЕРНОВ

*главный инженер
ПТК «Прогресс»*

В статье рассматривается ход становления производства нашего предприятия и организационные шаги по его модернизации в условиях расширения спектра продукции для серийных поставок.

К своему двадцатилетнему юбилею ОАО «Радиоавионика» сформировалось как полноценное научно-производственное предприятие, умеющее успешно реализовывать свой интеллектуальный потенциал не только на бумаге и в математических моделях, но и в «железе».

«Железную» составляющую научно-производственной деятельности предприятия обеспечивает Производственно-технологический комплекс (ПТК) «Прогресс». Уже на первых порах существования ОАО «Радиоавионика», когда только еще формировались те прорывные направления научно-технической деятельности, на которых предполагалось получить наиболее значимые дивиденды, когда накапливался научный потенциал и формировалась интеллектуальная собственность, руководством и акционерами ОАО был взят курс на создание собственного технологически полноценного производства. Без экспериментального подтверждения выбранных технических решений невозможен прорыв и продвижение вперед, невозможно в острой конкурентной борьбе найти свою нишу, удерживать и развивать ее.

Научно-технические центры, занимающиеся инновационными разработками по прорывным научно-техническим направлениям, нуждались в изготовлении экспериментальных и опытных образцов. На первых порах разработчики были вынуждены сами заниматься изготовлением экспериментальных и опытных образцов в своих подразделениях или размещать их изготовление на посторонних предприятиях. Первыми на практическую стадию реализации своих идей вышли разработчики СНК. Именно поэтому собственное производство начало формироваться вокруг этой тематики.

Конструктивно-технологические изделия СНК являются классическими образцами радиоэлектронной продукции. Они содержат в себе практически все виды приборных технологий, от изготовления сложных корпусных и несущих конструкций до всех видов электромонтажа и сложных программно-аппаратных настроек.

Поэтому и производство стало формироваться как уменьшенная копия приборостроительного завода конца XX века, но с той разницей, что с самого начала ставка в развитии была сделана на размещении большинства работ по изготовлению механических деталей и сборок на контрактных предприятиях при безусловном сохранении за собственным производством финишных операций сборки, регулировки, программирования выпускаемых изделий и их сервисного обслуживания.

Под руководством первого директора ПТК «Прогресс» Тренина В.Н. на территории ХК «Ленинец» было создано компактное производство, оснащенное универсальным оборудованием для механообработки, сборки, электромонтажа и настройки. Стараниями первого директора и руководства фирмы новое производственное подразделение, наполненное высококвалифицированным рабочим персоналом и опытными инженерно-техническими работниками, оказалось способным обеспечить изготовление первого серийного изделия разработки ОАО «Радиоавионика»: двухниточного ультразвукового дефектоскопа «АВИКОН-01».



При изготовлении его механических частей широко использовалась производственная кооперация с предприятиями города. Весь электромонтаж производился вручную, сборка изделия, его регулировка и испытания в полном объеме производилось силами ПТК «Прогресс». Отдельные технологические операции, такие как нанесение покрытий, термообработка, изготовление пластмассо-

вых и резиновых деталей, с самого начала планировали к размещению на сторонних предприятиях.

Активно развиваясь, ПТК «Прогресс» освоил в серийном производстве дефектоскопы «АВИКОН-02», обеспечивал изготовление дефектоскопических комплексов «АВИКОН-03». С 2004 года ПТК «Прогресс» выпускает серийно дефектоскопы «АВИКОН-11». Одновременно с развитием в ОАО «Радиоавионика» направления геолокации, прикладных информационных технологий и других видов деятельности, ПТК «Прогресс» активно участвует в проведении НИОКР по этим направлениям.

Решая проблемы комплексно, для ОАО «РЖД» предприятие начало внедрение на сеть железных дорог систем электрической централизации, поставляя аппаратуру УВК РА (Первая отечественная электрическая централизация ЭЦ-ЕМ внедрена на ст. Новый Петергоф Октябрьской ж.д. в 2000г.). ПТК «Прогресс» освоило производство широкого спектра параметрического ряда управляющих вычислительных комплексов УВК РА и систем электропитания для систем микропроцессорной централизации ЭЦ-ЕМ, и, пройдя все ступени проверок, ИЦ ЖАТ ПГУ ПС приступило к тиражированию систем ЭЦ-ЕМ, ЭЦ-ЕМ/АБТЦ-ЕМ в составе технических средств УВК РА, СПУ, КСУ РА с 2004г.

К этому времени становится ясным, что требуется серьезное расширение производственных мощностей и технологических возможностей собственного производства. Руководством ОАО «Радиоавионика» принимаются меры по расширению производственных мощностей по электромонтажу, сборке и регулировке. В 2006 году вводятся в эксплуатацию арендованные производственные площади на Санкт-Петербургском электротехническом заводе (ул. Боровая, д.116). Там создается обособленное производство средств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). С учетом технологических и организационных особенностей аппаратуры ЖАТ в новом производстве создаются участки проводного и кабельного монтажа, сборки, регулировки и программирования технических средств ЖАТ. Это производ-



ство оснащается лучшими на то время инструментами и технологическими устройствами, позволившими резко увеличить технологические возможности и производственные мощности ОАО «Радиоавионика».

На новом производстве вводятся в эксплуатацию установки мерной резки и зачистки проводов и кабелей, новое электроиспытательное оборудование, обеспечивающее проверку соответствия аппаратуры требованиям ЭМС. Создаются и вводятся в эксплуатацию рабочие места по тестированию модулей и стоек, оснащенные новейшей вычислительной техникой и измерительным оборудованием. Передовые разработки подразделений НТК ЖАТ и производственные возможности позволили в короткий срок реализовать к внедрению на сеть железных дорог широкий спектр СПУ, предназначенных для электропитания релейных ЭЦ, автоблокировки АБТЦ, АБТЦ-ЕМ, АБТЦ-М, микропроцессорных систем, ЭЦ-ЕМ, МПЦ-2, расположенных на одной станции и различных по своей мощности, обеспечивающих как малые, так и крупные узловые ж.д. станции (например, Бологое Окт.ж.д.).



Созданию нового производства ЖАТ предшествовало важное решение об отказе от создания собственного участка поверхностного монтажа и размещения этих работ на уже существующих аналогичных участках у стратегического партнера ОАО «Радиоавионика» - ЗАО «Котлин-Новатор».

Это дало возможность вложить дополнительные средства в развитие собственных сборочно-регулирующих производств и окончательно закрепить именно за ними приоритет развития. Тем более что в 2007 году заканчивается разработка изделия «Стрелец» и принимается решение о создании в рамках ПТК «Прогресс» третьего регулировочно-сборочного производства, ориентированного на изготовление этого изделия. Приобретаются в аренду производственные площади, на которых новое производственное подразделение собрало первую партию серийных изделий «Стрелец». Планомерно развивая от года к году это направление были сформированы производ-

ственные процессы изготовления multifункциональных информационных комплексов и поставляемых комплектов и взят курс на изготовление их составных частей собственными силами.

Таким образом, к 2008-2009 годам в основном сформировалась идеология технологического развития производства в ОАО «Радиоавионика» как сборочно-регулирующего. Основной целью определяется опережающее развитие сборочно-монтажных и регулировочно-сдаточных мощностей, обеспечивающих многократное увеличение производства продукции по наиболее перспективным направлениям: ПИТ, ЖАТ и др.

Для обеспечения эффективного функционирования сборочно-монтажных мощностей принимается решение о расширении технологических возможностей по механообработке и каркасно-слесарным работам. Создаются мощные службы материально-технического обеспечения и межзаводской кооперации, взявшие на себя закрытие дефицита производственных мощностей по механообработке.

Революционным в развитии ПТК «Прогресс» стал 2010 год. Генеральной дирекцией принимается решение о взятии в долгосрочную аренду более 6000 кв.м. производственных площадей в корпусе №1 по Обводному каналу, 14. В конце 2010 — начале 2011 года после капитального ремонта взятых в аренду помещений все сборочно-монтажные и регулировочно-сдаточные подразделения ПТК «Прогресс» перебазированы в просторные, отлично отделанные помещения. Одновременно начинается капитальный ремонт корпуса №6, в котором остаются только механозаготовительный, слесарный и сварочные участки. Развернута работа по совершенствованию технологической испытательной базы, наряду с имеющимися камерами тепла и холода и вибрационными стендами приобретено и оборудование по проведению проверок в объеме периодических испытаний, а также на электромагнитные помехи, высокотехнологическое оборудование по настройке и проверке приборов по теме НТК ПИТ.



Вместе с решением «квартирного» вопроса, структура ПТК «Прогресс» переводится на цеховую форму организации. Создается пять технологически и предметно специализированных цехов:

- Цех №1 – механическое производство,
- Цех №2 – сборочно-монтажное производство,

- Цех №3 – сборочно-регулирующее производство по тематике СНК,
- Цех №4 – обособленное сборочно-регулирующее производство по тематике ЖАТ,
- Цех №5 – сборочно-регулирующее производство по тематике ПИТ и СГЛ.

Создается единая планово-диспетчерская служба, служба главного инженера, отдел внешней кооперации, складское хозяйство, укрепляются службы материально-технического обеспечения и экономические службы. Все предпринятые организационные шаги позволили в 2010 г. своевременно выполнить Государственные контракты по тематикам НТК ПИТ, НТК СГЛ и обеспечить исполнение договоров с ОАО «РЖД» и контрактов с фирмой «GEISMAR» по тематике НТК СНК. Большая плановая работа



проведена по сертификации всей продукции, выпускаемой предприятием, специальными аккредитованными центрами ИЦ ЖАТ ПГУ ПС и РС ФЖТ. Продукция имеет сертификаты соответствия, а система менеджмента качества соответствует требованиям ГОСТ Р ИСО 9001. Сертификат соответствия выдан органом по сертификации систем качества «Русский регистр» в системе добровольной сертификации

продукции и систем качества предприятий оборонных отраслей промышленности (Система «Оборонсертифика»). В результате всех преобразований к своему двадцатилетию ОАО «Радиоавионика» вышло с производством, размещающимся на 7000 кв.м. отремонтированных современных производственных площадей, на которых трудится на современных рабочих местах более 300 человек.

Что и с помощью какого оборудования может ПТК «Прогресс»:

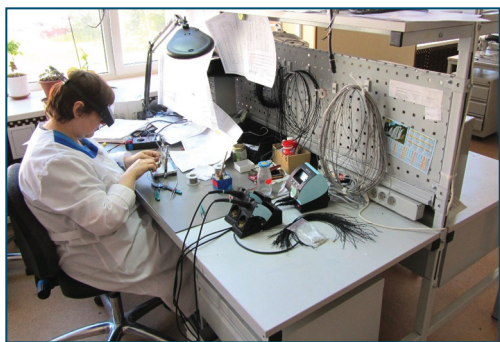
Основные технологические возможности металлообработки в механическом цехе, Цехе №1:

- токарные (6 станков, в том числе 4 моложе 3-х лет, из них 2 станка с ЧПУ),
- фрезерные (3 станка, в том числе 2 моложе 3-х лет),
- гибочные (станок моложе 3-х лет),
- сверлильные (50% станков моложе 5-и лет),
- слесарные,
- электросварочные в защитной среде.

За последние 5 лет в Цехе №1 внедрены:

- электротермическая обработка пеннополистирола,
- технологии формирования резьбовых отверстий (от М3 до М8) в тонком листовом материале и тонкостенных трубах методом «сверления трением»,
- технологии запрессовки резьбовых втулок в плоские детали и тонкостенные трубы,
- галтовка металлических деталей.

Особо необходимо отметить создание первоклассно оснащенного участка аргоно-дуговой сварки. Благодаря высокой квалификации персонала и современному оборудованию, цеху удастся полностью обеспечить потребности серийного и опытного производства в этом виде работ. В ближайшее время для цеха будет приобретен фрезерный обрабатывающий центр, внедрение кото-



рого позволит начать изготовление сложных цельнометаллических корпусов для аппаратуры ПИТ и СГЛ. Далее предполагается заменить устаревшее заготовительное и другое оборудование на современное. В планах производства также приобретение и внедрение современного комплекса лазерной резки и гравировки, что значительно повысит оперативность изготовления каркасных и других конструктивных элементов для СНК и СГЛ.

Основные технологические возможности сборочно-монтажного производства, Цеха №2:

- ручной электромонтаж плат печатного монтажа, в т. ч. поверхностный монтаж элементов, на рабочих местах, оснащенных современными монтажными станциями,
- монтаж жгутовых изделий, в т.ч. монтаж кабельных разъемов различных типов, как методом пайки, так и методом ручной и механической прессовки,
- герметизация элементов электромонтажа путем заливки разнообразными герметиками,
- маркировки кабелей и проводов различными методами с использованием специального технологического оборудования.

На участках электромонтажа кабелей широко используются установки мерной резки и зачистки проводов. Расширение технологических возможностей монтажно-сборочного производства видится в ближайшее время за счет неизбежного внедрения автоматизированных установок поверхностного монтажа, так как без этого невозможно макетирование и изготовление опытных образцов электронных узлов с использованием BGA-чипов, перечень которых в новых разработках стремительно растет.

Основные технологические возможности регулировочно-сборочного производства, Цеха №3,4,5:

- сборка с использованием ручного электроинструмента конструктивов различного уровня, от модулей до приборных шкафов,
- регулировка, настройка, программирование и тестирование широкого спектра электронных устройств от аналоговых и цифровых слаботочных устройств до сильноточных распределительных и управляющих шкафов,
- проведение механических и климатических технологических тренировок и испытаний,
- проведение специальных испытаний на помехоустойчивость к электростатическим воздействиям,
- длительные электропрогоны аппаратуры,
- осуществление сервисного обслуживания и ремонта изготавливаемой продукции.

Цеха №3,4,5 оснащены современной вычислительной техникой и специальными стендами для контроля и программирования. Вся вычислительная техника объединена во внутрицеховые сети.



ФИНАНСОВО- ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ИННОВАЦИОННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРОФИЛЯ



Р.Г. ВАМПИЛОВ

*Директор центра
корпоративного
развития и правового
обеспечения
ОАО «Радиоавионика»,
к.э.н.*

В статье рассматривается один из наиболее значимых аспектов функционирования научно-технической организации радиоэлектронной отрасли: структура инновационного цикла продукции. Приводится описание каждой из фаз инновационного цикла. Особое внимание уделяется специфике радиоэлектронной продукции.

Одной из важнейших организационно-экономических характеристик, без должного учёта и понимания которой невозможно анализировать закономерности развития радиоэлектроники, выступает структура инновационного цикла. Говоря о структуре инновационного цикла, как правило, имеют в виду совокупность относительно самостоятельных этапов развития конкретного новшества от стадии зарождения идеи до выхода на рынок нового или усовершенствованного вида продукции. Исследования отечественных и зарубежных специалистов показывают, что принципиально важными составляющими инновационного цикла сложных технических объектов выступают следующие фазы:

1. Возникновение новшества.
2. Внедрение новшества в сферу производства и эксплуатации.
3. Распространение новшества.
4. Совершенствование новшества.

Возникновение новшества. Сегодня уже убедительно доказано, что возникновение крупных технических новшеств в большинстве случаев не носит случайного характера. Новшество получает исходный импульс к развитию в определённый период времени, когда имеются общественная потребность, достаточный уровень знаний и возможность материальной реализации новой научно-технической идеи. В данном случае мы имеем в виду возможность сконцентрировать необходимые ресурсы и средства, использование которых обеспечит преодоление разнообразных технических, технологических, экономических и прочих барьеров, разделяющих сферу производства и потребления. Как правило, любое масштабное новшество является исходным пунктом изменений в системе производства и конечного потребления.

Взаимосвязь перечисленных фаз представлена на рис. 1. Рассмотрим далее содержание каждой из четырех выделенных фаз.



Рис. 1. Структура инновационного цикла радиоэлектронных изделий и основные задачи управления инновационной деятельностью

Постоянное совершенствование существующих систем и устройств, а также способов их производства, представляется с этих позиций последовательностью нововведений, выравнивающих и устраняющих одни диспропорции и вызывающих другие. Так, например, увеличение грузоподъемности летательных аппаратов существенно повлияло на развитие конструкционных материалов и породило ряд новых проблем в этой области.

С другой стороны, между потребностями и научно-техническими новшествами существуют довольно сложные диалектические взаимосвязи. Далеко не каждый научно-технический результат всегда строго нацелен на удовлетворение определенной, уже существующей потребности. Довольно часто полученные научно-технические достижения становятся исходным моментом для проявления новых или скрытых потребностей.

Фаза внедрения новшества в сферу производства и эксплуатации. Здесь обеспечивается запуск изделия в регулярное производство и анализируются результаты использования новшества у конечных потребителей.

В целом на этой стадии доминируют требования к потребительским качествам разрабатываемой продукции, а также к издержкам производства. Одновременно с этим разрабатывается стратегия использования новшества как на внутреннем, так и на внешнем рынке, а также комплекс работ по информированию потребителей (реклама, обучение

и т.п.) и стабилизации производства по параметрам качества, надёжности, стоимости и др.

Фаза распространения новшества. В ходе этой фазы на основе стабильного производства и тщательно разработанной стратегии сбыта обеспечивается широкое и эффективное использование новшества, т.е. проникновение его на рынок. При этом могут иметь место структурные изменения в стратегии развития предприятия, в его взаимоотношениях с заказчиками и потребителями.

В целом на этой стадии доминируют требования к потребительским качествам разрабатываемой продукции, а также к издержкам производства. Одновременно с этим разрабатывается стратегия использования новшества как на внутреннем, так и на внешнем рынке, а также комплекс работ по информированию потребителей (реклама, обучение и т.п.) и стабилизации производства по параметрам качества, надёжности, стоимости и др.

Целесообразно учитывать, что распространение новаций – это, в том числе, и информационный процесс, форма и скорость которого зависят от мощности коммуникационных каналов, особенностей восприятия информации хозяйствующими субъектами, их способностей к практическому использованию этой информации. Дело в том, что организации и предприятия, действующие в реальной экономической среде, проявляют неодинаковое отношение к поиску инноваций и разную способность к их восприятию.

Фаза совершенствования новшества. В ходе реализации этой фазы внедрённое новшество совершенствуется с конструктивной, технологической и экономической точек зрения, уменьшается мера его отрицательного воздействия на человека и окружающую среду. Основная цель всех этих мероприятий состоит в том, чтобы существенно снизить затраты на производство и эксплуатацию новой продукции, расширить масштабы её применения в различных сегментах рынка.

В реальной жизни имеется уже довольно много убедительных примеров того, как путём снижения стоимости и увеличения ассортимента удавалось добиться расширения сферы применения новшества. Так, например, вследствие резкого снижения стоимости микросхем стало экономически выгодно встраивать микропроцессоры в станки, измерительные приборы, радиотелевизионную аппаратуру, устройства связи, системы контроля и управления, бытовые приборы и т.д.

Инновационный цикл заканчивается при окончательном исчерпании возможностей технического и экономического совершенствования новшества или при коренном изменении требований заказчиков. Оно заменяется новым процессом, возникающим на базе нового технического принципа или физического эффекта, исследование которого по времени совпадает с завершающей стадией «старого» нововведения.

Рассматривая и анализируя структуру инновационного цикла радиоэлектронных изделий, целесообразно указать на ряд его важных особенностей.

Во-первых, продукция радиоэлектронной отрасли относится к наукоёмкой продукции, в создании которой значительное место отводится исследованиям и разработкам. Это означает, что доля затрат, которые имеют место на стадии возникновения новшества, составляет порядка 25-30% от суммарной стоимости освоения новой продукции.

Во-вторых, разработка многих радиоэлектронных комплексов и систем предполагает значительные затраты на создание специального программного обеспечения, которое не является материальным объектом. При этом затраты на программирование могут составлять до 50-70% от стоимости разработок.

В-третьих, одна из важных особенностей инновационного цикла изделий радиоэлектроники связана с быстрыми темпами морального старения полученных научно-технических результатов. Обновление элементной базы и других видов изделий радиоэлектронной промышленности идёт значительно быстрее, чем в машиностроении, авиационной промышленности, судостроении и других базовых отраслях, где длительность жизненного цикла может составлять 10-15 лет. Для радиоэлектроники эти цифры составляют порядка 3-5 лет. Учитывая это обстоятельство, все ведущие отечественные и зарубежные фирмы уделяют большое внимание использованию методов автоматизированного проектирования и автоматизации производственных процессов, которые способны перевести процесс разработки новой продукции на принципиально новую технологию, которая объединяет в единое целое средства интерактивной машинной графики и машинного проектирования, использование оборудования с числовым программным управлением, автоматизированное управление технологическими процессами, робототехнику, интегрированное управление производством и гибкими производственными системами.

В заключение необходимо указать и на то, что развитие отечественной радиоэлектроники самым непосредственным образом связано с системой масштабных экономических преобразований, которые осуществляются в нашей стране в последние годы. Поскольку государство (прежде всего, военно-промышленный комплекс) выступает главным потребителем новейших радиоэлектронных систем, формирование и реализация государственной инновационной политики является одной из важнейших задач, стоящих перед его руководством.

В завершение настоящей статьи необходимо подчеркнуть, что радиоэлектронное приборостроение выступает сегодня одним из определяющих факторов инновационного развития российской экономики, укрепления ее научно-технического, производственного и оборонного потенциала. Разви-

тие радиоэлектроники призвано обеспечить переход к устойчивому экономическому росту и улучшению на этой основе качества жизни населения России.

Литература:

1. Барютин Л.С. Управление техническими нововведениями в промышленности. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986.
2. Кузык Б.Н., Яковец Ю.В. Россия – 2050: стратегия инновационного прорыва. - М.: Экономика, 2005.

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

сборник научных трудов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Издательство Политехнического университета
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул. 29

Подписано в печать 23.09.2011. Формат 60X84/16
Усл. печ. л. 25. Тираж 999. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии

