

**НОВИКОВ Андрей Николаевич
БАПЬШЕН Леонид Израилевич
КОЗЬМИН Владимир Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент
АВДЮШИН Артем Сергеевич
БЕГИШЕВ Марат Рафаильевич**

МОБИЛЬНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ ИВК-РАДИО

Важнейшим элементом обеспечения стабильной работы сложной системы железной дороги, устойчивости оперативного управления и безопасности перевозок является надежная радиосвязь. С помощью радиосвязи обеспечивается непрерывное взаимодействие между движущимися поездами и диспетчерскими службами. Без качественной радиосвязи невозможно обойтись при проведении различных работ на железнодорожных станциях, переездах и удаленных участках путей. Для проверки качества поездной и станционной радиосвязи необходимо осуществлять регулярные радиоизмерения на железнодорожных перегонах и станциях.

При этом измерительная аппаратура должна удовлетворять ряду специфических требований. Во-первых, необходимо использовать средства, способные работать в большом диапазоне уровней радиосигналов, в условиях значительных электромагнитных помех и постоянных механических вибраций. Во-вторых, применяемые средства должны иметь достаточную точность и высокую стабильность параметров. В-третьих, средства измерений должны быть быстродействующими, чтобы можно было сформировать достоверную картину распределения напряженности поля или уровней сигналов в движении. В-четвертых, при выполнении измерений следует стремиться к тому, чтобы не отвлекать диспетчеров служб железной до-

роги от их основной задачи – эффективного управления движением поездов. Кроме того, средства измерений должны быть компактными, чтобы их можно было использовать на различной транспортной базе, в том числе вагонах-лабораториях, дрезинах, а также микроавтобусах и легковых автомобилях.

В настоящей статье рассматриваются основные особенности мобильного автоматизированного измерительного комплекса контроля параметров железнодорожной радиосвязи ИВК-РАДИО, построенного на базе панорамного измерительного приемника АРК-Д1ТР [1, 2, 3].

Назначение и технические характеристики комплекса ИВК-РАДИО

Мобильный измерительный комплекс контроля качества поездной радиосвязи ИВК-РАДИО [4] предназначен для решения задач контроля параметров устройств радиосвязи на железнодорожном транспорте. Он осуществляет:

- ✖ измерение параметров устройств поездной, станционной и ремонтно-оперативной радиосвязи на железнодорожном транспорте;
- ✖ анализ результатов измерений в режиме реального времени;
- ✖ запись и хранение результатов измерений;

- ✖ проведение сравнительного анализа по сохраненным данным измерений;
- ✖ подготовку данных для выработки рекомендаций по устранению выявленных нарушений работы устройств радиосвязи.

Комплекс сертифицирован как тип средства измерений и допущен к применению в Российской Федерации [4]. Он обеспечивает:

- ✖ измерение уровней сигналов средств железнодорожной радиосвязи с погрешностью не более 3 дБ в диапазонах гектометровых волн (ГМВ), метровых волн (МВ) и дециметровых волн (ДМВ);
- ✖ измерение несущей частоты принимаемого сигнала с относительной погрешностью не более 1×10^{-6} ;
- ✖ измерение девиации частоты принимаемого сигнала в диапазоне от 0,5 до 10 кГц с относительной погрешностью не более 2,5%;
- ✖ измерение частоты вызывного тона в диапазоне от 700 Гц до 3 кГц с абсолютной погрешностью не более 1 Гц;
- ✖ оценка квазипиковых значений уровней помех с погрешностью не более 3 дБ;
- ✖ чувствительность по антенным входам при отношении сигнал/шум 10 дБ в полосе 7 кГц не более 1 мкВ;
- ✖ привязку результатов измерения к ординате местоположения комплекса на участке железной дороги и к географическим координатам;
- ✖ отображение местоположения комплекса, напряженности электромагнитного поля, уровней сигналов, источников помех на цифровой карте местности;

- ✖ автоматическую проверку работоспособности комплекса;
- ✖ управление технологической радиостанцией;
- ✖ запись на жесткий диск демодулированных сигналов контролируемых радиостанций;
- ✖ визуальное представление, анализ и документирование результатов измерений.

Потребляемая мощность не превышает 100 Вт. Габаритные размеры стойки с аппаратурой составляют 343×284×556 мм, возможно питание комплекса от сети переменного тока 220 В, постоянного тока 48, 27 или 12 В. Структурная схема комплекса ИВК-РАДИО приведена на рис. 1.

В состав комплекса входят следующие устройства:

- ✖ измерительный приемник АРК-Д1ТР;
- ✖ антенный коммутатор АРК-К;
- ✖ блок управления периферийными устройствами АРК-БУПУ;
- ✖ блок питания АРК-БП СУ-1;
- ✖ блок управления радиостанцией АРК-БУРС;
- ✖ аппаратура навигации АРК-КН1;
- ✖ антenna тестового генератора АРК-АТ1;
- ✖ распределитель питания АРК-РПИТ;
- ✖ ПЭВМ.

Внешний вид стойки радиооборудования комплекса ИВК-РАДИО приведен на фото 1.

Основными устройствами комплекса являются: измерительный приемник АРК-Д1ТР, антенный коммутатор АРК-К, блок управления периферийными устройствами АРК-БУПУ,

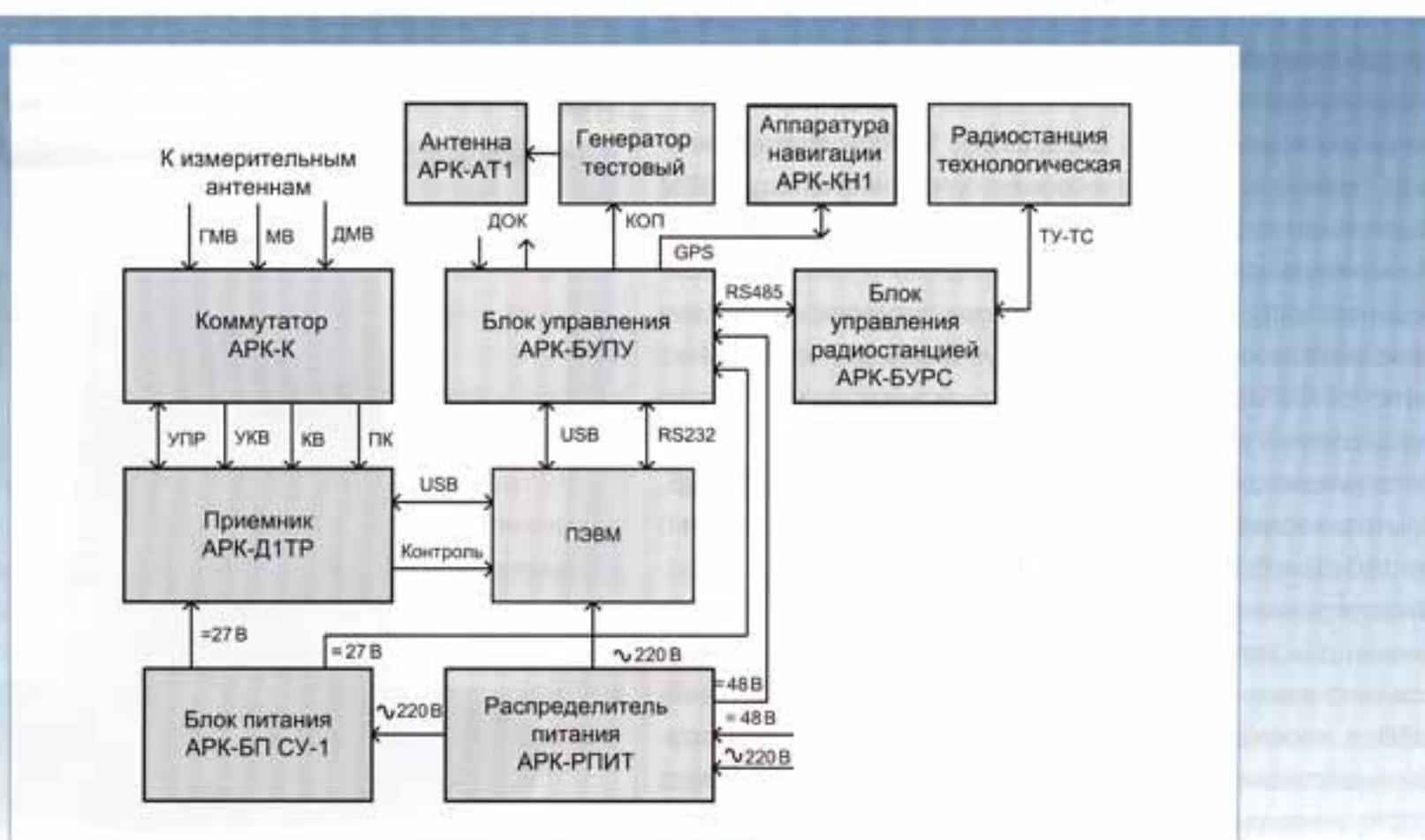


Рис. 1. Структурная схема комплекса ИВК-РАДИО



Фото 1. Внешний вид стойки радиооборудования с закрытой (а) и открытой (б) крышкой

а также ПЭВМ, отвечающая за цифровую обработку сигналов и пользовательский интерфейс.

Сигналы с выходов измерительных антенн поступают на входы коммутатора, который коммутирует один из сигналов на соответствующий вход измерительного приемника. В диапазоне ГМВ коммутатор осуществляет предварительную селекцию входного сигнала. В составе коммутатора имеется управляемый аттенюатор.

Управление коммутатором осуществляется от измерительного приемника по интерфейсу RS485. Измерительный приемник, в свою очередь, управляет от ПЭВМ комплекса по последовательному интерфейсу USB 2.0. Измерительный приемник осуществляет прием, преобразование, цифровую обработку радиосигналов и передачу выходных данных на ПЭВМ. Он управляет от ПЭВМ по интерфейсу USB 2.0. В составе приемника также имеется управляемый аттенюатор. Динамический диапазон приемника вместе с коммутатором составляет не менее 130 дБ, при этом обеспечивается прием сигналов с уровнями от 0 до 130 дБмкВ.

Блок управления периферийными устройствами предназначен для управления тестовым генератором в соответствии с командами, поступающими от ПЭВМ по шине USB, а также для преобразования сигналов от аппаратуры навигации АРК-КН1, от датчика оборотов колеса (ДОК) и передачи их в ПЭВМ. Также этот блок транслирует команды от ПЭВМ к блоку управления технологической радиостанцией.

Тестовый генератор в составе комплекса используется для оперативной проверки работоспособности его составных частей. Одна из операций проверки работоспособности заключается в измерении комплексом параметров сигналов от тестового генератора, излучаемых с помощью антенны. Так как комплекс предназначен для измерения параметров радиосигналов в диапазоне частот от 2 до 1000 МГц, то и проверка его работоспособности должна производиться в том же диапазоне. Но спроекти-



Фото 2. Внешний вид антенны АРК-АТ1

ровать излучающую антенну, эффективно работающую в таком широком диапазоне, – задача практически невыполнимая. Поэтому для комплекса была разработана антенна АРК-АТ1, эффективно работающая только в тех поддиапазонах частот, которые используются на железной дороге. Антенна АРК-АТ1 размещается на крыше. Внешний вид антенны показан на фото 2.

Управление тестовым генератором осуществляется по интерфейсу канала общего пользования (КОП) от блока АРК-БУПУ, который, в свою очередь, управляется командами по шине USB от ПЭВМ.

Наконец, распределитель питания и блок питания предназначены для преобразования и стабилизации питающего напряжения комплекса.

Программное обеспечение комплекса

Работа комплекса осуществляется под управлением пакета программ специального математического обеспечения, в который входят программы СМО-ИВК РАДИО, СМО-ППК, СМО-КН.

Программа СМО-ИВК РАДИО обеспечивает автоматизированное управление комплексом, проведение измерений параметров железнодорожной радиосвязи, отображение и документирование результатов измерений. Программа СМО-ППК используется для общих задач радиомониторинга и поиска источников помех. Программа СМО-КН предназначена для отображения результатов измерений и местоположения комплекса на электронной карте. Результаты измерений и навигационные данные в программу СМО-КН передаются из программ СМО-ИВК РАДИО или СМО-ППК. Для представления распределений измеренных уровней сигналов на картографическом фоне в программе СМО-КН используется цветовое представление интенсивностей с геодезической палитрой цветов. Изменяя порог отображения на карте, можно отображать зоны, для которых значения уровней сигналов соответствуют допустимым значениям. В базе данных истории программы сохраняются все поступившие измеренные значения и навигационные данные.

Назначение и особенности программ СМО-ППК и СМО-КН уже рассматривались в публикациях [1, 2], поэтому сейчас мы остановимся на описании особенностей основной программы комплекса СМО-ИВК РАДИО.

Графический интерфейс программы разработан с учетом специфики использования в мобильной лаборатории, находящейся в движении. Интерфейс содержит элементы управления, настраиваемый размер шрифта отображения результатов, все основные команды выполняются с помощью клавишных комбинаций. В программе реализо-

вана защита от несанкционированного доступа, для запуска программы необходимо ввести имя пользователя и пароль. Основные режимы работы программы:

- ✖ контроль параметров поездной радиосвязи (ПРС);
- ✖ контроль параметров ремонтно-оперативной радиосвязи (РОПС);
- ✖ контроль параметров станционной радиосвязи (СРС);
- ✖ анализ;
- ✖ проверка работоспособности оборудования.

Режимы контроля параметров радиосвязи

Окно программы ИВК РАДИО в режиме контроля параметров ПРС представлено на рис. 2. В центральной части окна расположена диаграмма результатов измерений, на которой отображаются зависимости уровней сигналов радиостанций и уровней помех от координаты вдоль железнодорожного полотна. Красной линией (на рис. 2 – пунктир) отмечена норма уровня сигнала для данного участка железной дороги. Участки дороги, на которых уровень сигнала падает ниже нормы, в окне программы выделяются цветным фоном. Типы радиостанций, результаты измерения сигналов которых отображаются на диаграмме, выбираются на панели «Отображаемые радиостанции», расположенной справа от диаграммы результатов измерений. Выбор отображаемых радиостанций позволяет не загромождать график, что бывает полезно в случае одновременного контроля параметров радиосвязи разных диапазонов частот, например гектометрового и метрового диапазона.

Ниже диаграммы результатов расположена схема участка железной дороги, на которой обозначены расположение железнодорожных станций и текущее положение вагона-лаборатории. График результатов измерений и схема железной дороги являются масштабируемыми, что позволяет оператору подобрать наиболее удобный для него масштаб изображения. Кроме того, предусмотрен режим слежения за положением комплекса, в этом случае график автоматически смещается в соответствии с его перемещением.

Для определения положения комплекса используются датчик оборотов колеса и аппаратура спутниковой системы навигации АРК-КН1. В программе используется специальный алгоритм обработки навигационных данных от спутниковой системы, позволяющий минимизировать ошибку измерения координаты вдоль железнодорожного полотна. В программе реализован автоматический вариант выбора источника данных о координате вагона, например, если от аппаратуры спутниковой навигации поступают недостоверные данные (в тоннеле, под

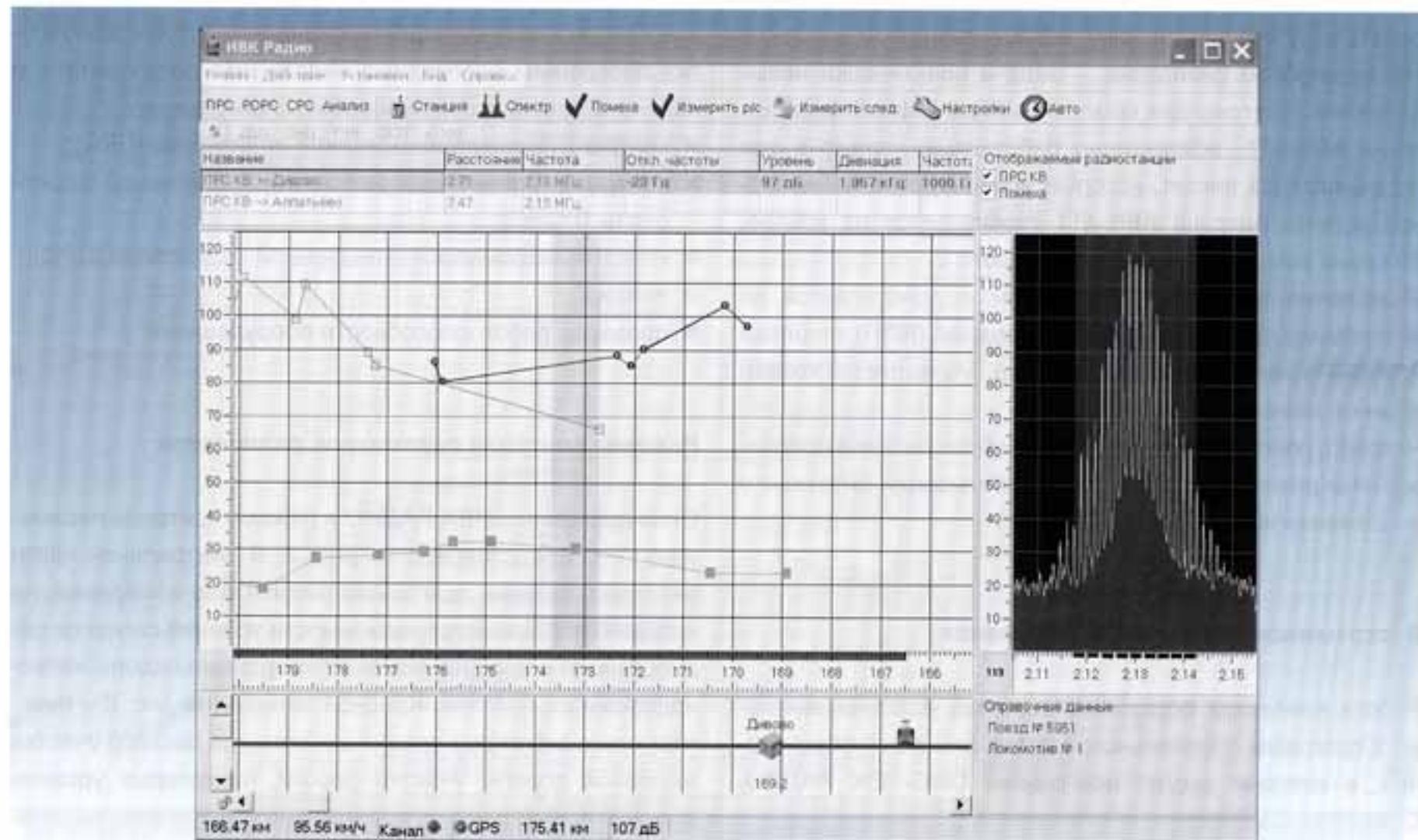


Рис. 2. Окно программы в режиме контроля параметров ПРС

мостом и др.), происходит автоматическое переключение на датчик оборотов колеса.

Над графиком результатов измерений расположена таблица, в которой указаны названия предыдущей и следующей железнодорожной станции, расстояние до них и результаты последнего измерения.

В правой части окна расположена спектральная диаграмма сигнала на частоте радиостанции, выбранной в таблице. По ней оператор может в реальном времени наблюдать за обстановкой в радиоканале и выбирать оптимальный момент для проведения измерения характеристик сигнала. Если комплекс установлен в вагоне-лаборатории, то в правом нижнем углу расположена панель справочных данных, в которую для удобства оператора выводится номер локомотива и поезда, в состав которого входит вагон-лаборатория.

В нижней части окна расположена строка состояния, в которую выводятся данные о текущем положении и скорости движения вагона-лаборатории, занятости канала и состоянии устройства спутниковой навигации. Здесь же отображаются координаты курсора при движении его над графиком результатов измерений.

Режим контроля параметров РОПС аналогичен режиму контроля параметров СРС, в случае измерения параметров СРС шкала расстояния заменяется временной шкалой, а схема участка железной дороги не отображается.

Для измерения уровня радиосигналов возможно использование квазипикового, пикового и среднеквадратического детекторов. Оператор выбирает метод измерения исходя из поставленной перед ним задачи. Так, для измерения уровня импульсной помехи рекомендуется использовать квазипиковый детектор, для измерения уровня сигнала – среднеквадратический. Методы измерения для сигнала и помехи задаются независимо друг от друга. При выходе нужной радиостанции в эфир оператор дает команду на измерение ее параметров, нажав мышью кнопку «Измерение» или соответствующую горячую клавишу. По окончании процесса измерения будет выведено окно результатов, показанное на рис. 3. В нем представлены измеренные параметры радиосигнала: уровень сигнала, частота несущей, ширина полосы, девиация, частота поднесущей. Кроме того, в окне отображается фотография спектра на момент измерения параметров сигнала.

Далее оператор должен подтвердить, сигнал от какой станции был измерен, а также с какой службой была установлена связь. В окне имеется возможность добавить комментарий к результату измерения. Для записи результатов измерений в базу данных оператор нажимает мышью экранную кнопку «Фиксация» или соответствующую горячую клавишу на клавиатуре ПЭВМ.

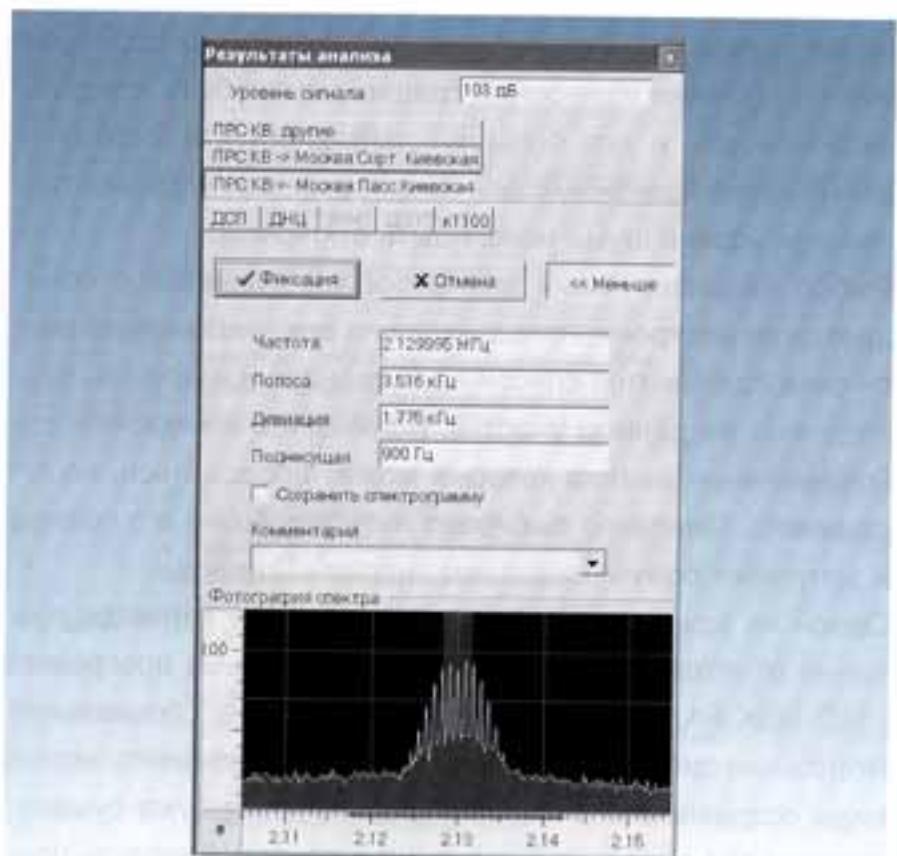


Рис. 3. Окно результатов измерения

В случае незанятого радиоканала возможно измерение уровня шума. Для этого необходимо нажать экранную кнопку «Помеха» в главном окне режима (рис. 2).

Для упрощения работы оператора предусмотрена функция автоматического измерения параметров сигнала следующей вышедшей в эфир радиостанции. Это существенно упрощает измерения параметров сигналов радиостанций по их автоматическому тональному ответу, так

как при этом оператору не нужно определять моменты завершения передачи своей радиостанции и момент выхода в эфир контролируемой.

Все результаты измерений хранятся в базе данных, которая имеет возможности резервного копирования, анализа данных, их обработку с использованием других программ, быстрого переноса результатов на другой компьютер.

В программе реализован также режим автоматического контроля параметров радиосвязи для участков пути, оборудованных радиостанциями с адресным вызовом, например РС-46М или РС-46МЦ. При нажатии кнопки «Авто» программа в соответствии с заранее подготовленным сценарием автоматически через заданные интервалы времени или пути вызывает контролируемые радиостанции, измеряет параметры их ответов, сохраняя результаты в базе данных.

Режим «Анализ»

Анализ результатов измерений производится в отложенном режиме по результатам, хранящимся в базе данных. При этом можно производить анализ результатов контроля параметров радиосвязи как одного сеанса измерений, так и сравнительный анализ нескольких сеансов измерений, например для оценки изменения состояния радиосвязи с течением времени. Вид окна режима «Анализ» представлен на рис. 4.

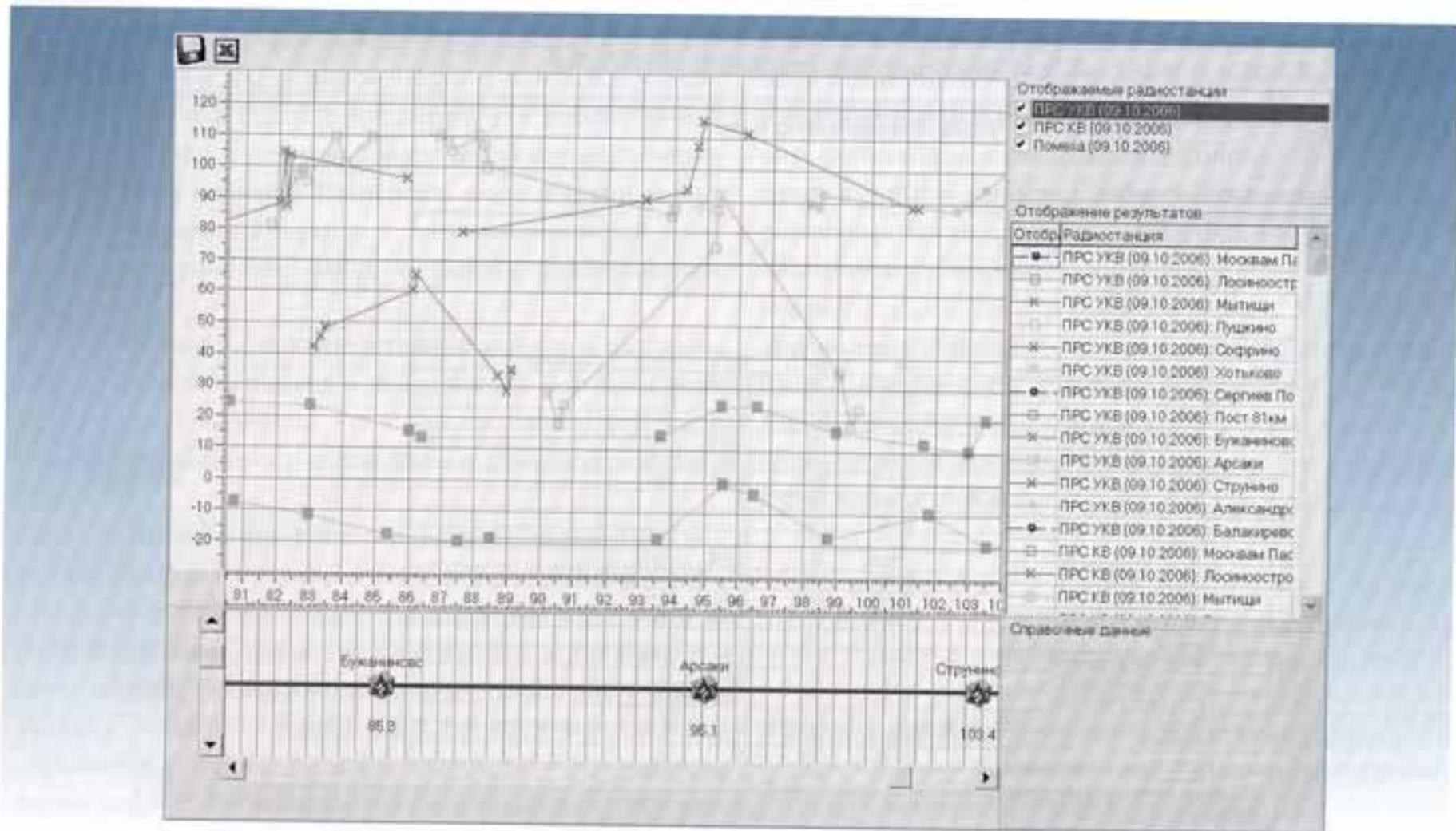
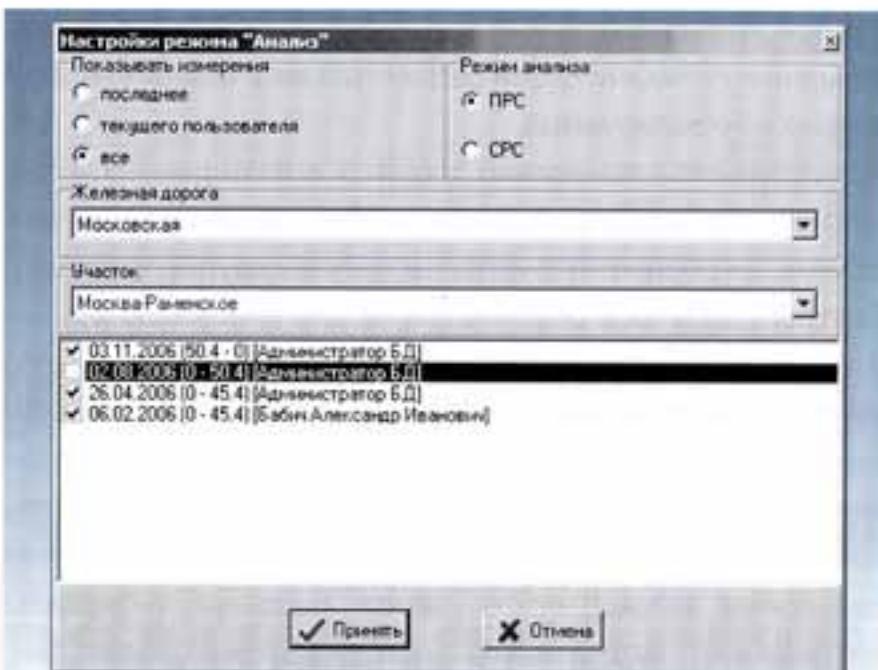


Рис. 4. Окно программы в режиме «Анализ»

**Рис. 5. Окно настроек режима «Анализ»**

Основную часть окна занимает масштабируемый график результатов измерений, под которым расположена схема участка железной дороги, для которого проводились измерения. Справа находится таблица «Отображение результатов», в которой описаны форматы вывода результатов измерения параметров каждой из станций. При этом в таблице указывается не только имя станции, но и дата проведения измерения. Отображаемые на графике результаты выбираются в списке «Отображаемые радиостанции», расположенном над таблицей. В случае прове-

дения сравнительного анализа для нескольких разнесенных по времени измерений график может быть слишком загроможден, и для большей наглядности отображение результатов измерения для некоторых типов радиостанций или уровня шума может быть отключено.

Выбор анализируемых данных осуществляется с помощью окна настроек, показанного на рис. 5. В нижней части окна содержится список всех сеансов измерения, проведенных на данном участке. Количество измерений, одновременный анализ которых может проводиться, не ограничено. Оператор выбирает интересующие его сеансы и запускает режим нажатием кнопки «Принять».

Одной из важных задач режима «Анализ» является создание отчетов по результатам измерений. В программе СМО-ИВК РАДИО для отчетов разработана специальная модульная система, позволяющая легко добавлять новые виды создаваемых отчетов и редактировать уже существующие без внесения изменений в основной модуль программы. На данный момент реализовано создание двух видов отчетов: сохранение графиков в виде изображения в файле стандартного формата векторной графики Windows MetaFile (wmf) и вывод данных в формате Microsoft Excel. При выводе данных в Microsoft Excel создается отчет, содержащий как таблицу с результатами измерения для каждой станции (рис. 6), так и графическую диаграмму (рис. 7), построенную по этим результатам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ 03.11.2006						
км	ст.	Станция	км	дБ	Гц	Гц
1						
2						
3		ШЧ-ХХ				
4		Участок: Москва-Раменское				
5		Норма электромагнитного поля 70 дБ на 10 км				
6						
7	0.1	ПРС КВ: Москва Казанская700				
8	5.6	ПРС КВ: МРЦ Сорт. Рязанская				
9	11	ПРС КВ: Первое 1				
10	20.8	ПРС КВ: Люберцы 1				
11	33.4	ПРС КВ: Быково				
12	45.4	ПРС КВ: Раменское				
13	км	ст.	Станция	км	дБ	Гц
14	0.1	Москва Казанская700	1.146	89	0.752	0
15		Помеха	1.327	88	0	0
16	0.1	Москва Казанская700	1.386	91	0.656	0
17	0.1	Москва Казанская700	1.511	92	2.065	1000
18	0.1	Москва Казанская700	1.698	92	2.061	1000
19	0.1	Москва Казанская700	1.715	88	2.081	900
20	5.6	МРЦ Сорт. Рязанская	2.174	83	0	0
21	0.1	Москва Казанская700	2.363	84	0	0
22		Помеха	2.7	87	0	0
23	0.1	Москва Казанская700	2.869	81	2.075	1000
24	0.1	Москва Казанская700	3.207	90	0	0
25	0.1	Москва Казанская700	3.613	88	2.2	900
26	5.6	МРЦ Сорт. Рязанская	3.895	77	1.907	900
27		Помеха	4.636	20	0	0
28	5.6	МРЦ Сорт. Рязанская	4.951	73	1.8	1000
29	0.1	Москва Казанская700	5.307	79	1.011	0
30	5.6	МРЦ Сорт. Рязанская	5.547	66	1.285	0
31		Помеха	6.921	21	0	0
32	11	Перово 1	7.128	82	1.599	0
33		Помеха	8.409	26	0	0
34	11	Паркет 1	9.207	86	1.783	1000

Рис. 6. Вывод данных в Microsoft Excel – таблица результатов измерений

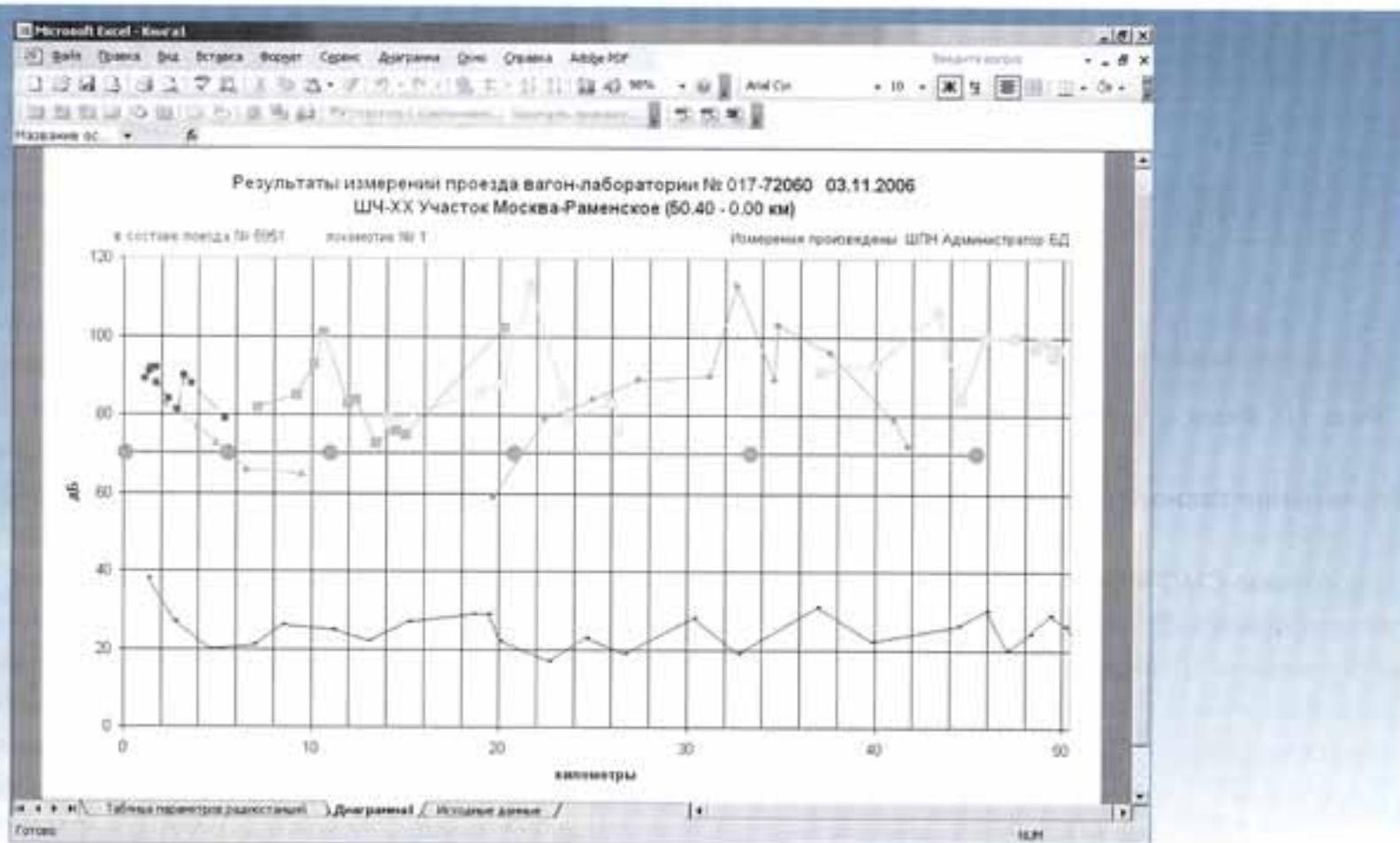


Рис. 7. Вывод данных в Microsoft Excel – графическая диаграмма

Режим проверки работоспособности комплекса

В комплексе ИВК-РАДИО реализован режим автоматической проверки работоспособности оборудования. Наличие такого режима сводит к минимуму возможность получения ошибочных результатов измерения в результате неисправности комплекса.

Проверка подключения к комплексу антенного коммутатора, измерительного приемника и блока управления периферийными устройствами производится по их ответам на управляющие сигналы. Для проверки работоспособности радиоизмерительного тракта – измерительных антенн, коммутатора, измерительного приемника – произ-

водится тестовое измерение параметров эталонных сигналов, излучаемых тестовым генератором. Проверка работоспособности аппаратуры навигации производится по наличию навигационных данных.

Режим проверки работоспособности запускается автоматически после запуска программы СМО-ИВК РАДИО. Результаты проверки отображаются графически или в виде отчета, как показано на рис. 8, 9. На графической схеме разными цветами выделяются функциональные узлы комплекса, проверка которых прошла успешно, и те из них, работоспособность которых вызывает сомнения.

Таким образом, оператор имеет подробную информацию о работоспособности комплекса.

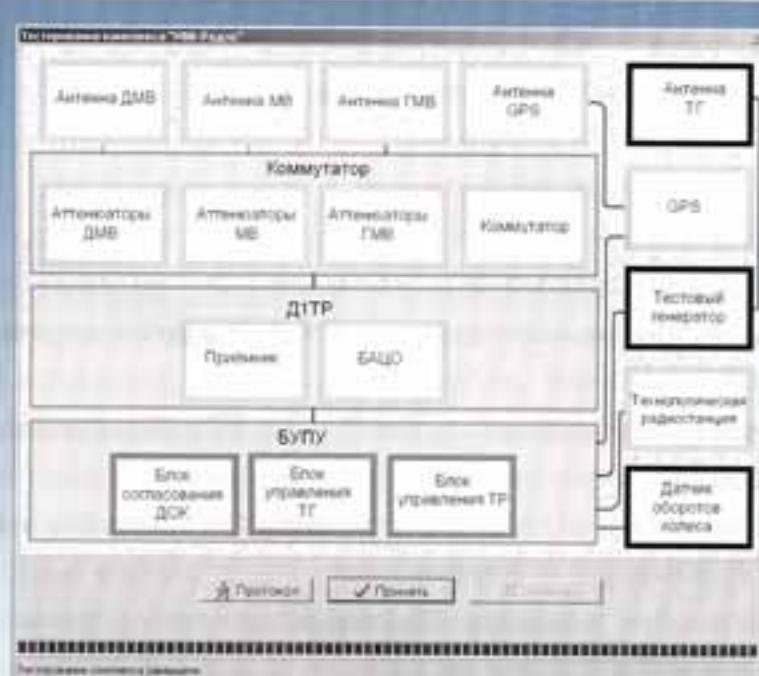


Рис. 8. Окно проверки работоспособности комплекса

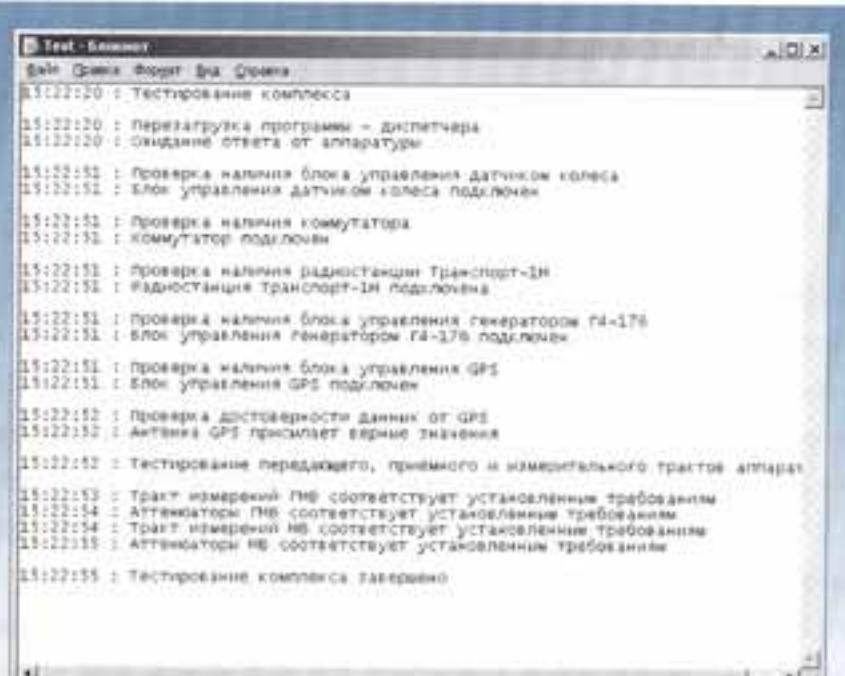


Рис. 9. Отчет по результатам тестирования комплекса



Рис. 10. Окно «Пульт радиостанции»

Управление технологической радиостанцией

В программе СМО-ИВК РАДИО имеется окно управления технологической радиостанцией, появляющееся при нажатии кнопки «Станция». Вид окна показан на рис. 10. Окно обеспечивает доступ ко всем функциям управления радиостанцией.

Заключение

Мобильный автоматизированный измерительный комплекс контроля параметров поездной радиосвязи ИВК-РАДИО предназначен для контроля параметров поездной, ремонтно-оперативной и станционной радиосвязи, а также анализа результатов измерений, формирования отчетов. Ядром комплекса является цифровой панорамный измерительный приемник АРК-Д1ТР, который позволяет измерять параметры сигналов не только с аналоговыми, но и с цифровыми видами модуляции. Поэтому для автоматизации измерения параметров сигналов, перспективных средств железнодорожной связи, например стандартов GSM-R и TETRA, требуется внесение дополнений только в программное обеспечение комплекса без изменения состава его аппаратных средств.

В программе СМО-ИВК РАДИО, входящей в пакет программ комплекса, реализованы режимы полуавтоматического и автоматического измерения основных па-

раметров радиостанций, используемых в настоящее время на железной дороге. Все результаты измерений, включая спектrogramмы радиосигналов, сохраняются в базе данных. Режим анализа предоставляет пользователю эффективные средства отображения результатов измерений, их сравнения между собой, а также формирования отчетов в табличном и графическом видах. Режим автоматического тестирования обеспечивает оперативную проверку работоспособности комплекса, выявления неисправных устройств. Результаты измерений параметров радиосвязи привязаны к географическим координатам и могут отображаться на цифровой карте местности, так же, как местоположение комплекса и маршрут его движения.

Небольшие массогабаритные показатели и низкое энергопотребление комплекса ИВК-РАДИО делают возможным его установку не только в вагоны-лаборатории, но и на другие подвижные средства, включая легковые автомобили и микроавтобусы. В случае установки комплекса на автомобиль с помощью программ СМО-ППК и СМО-КН, входящих в состав программного обеспечения, становится возможной автоматическая локализация источников радиопомех на местности, которая особенно эффективна, если автомобиль дооснащен мобильным иносимым радиопеленгаторами.

В конце 2005 г. успешно завершились сертификационные испытания комплекса, показавшие значительный запас по его основным метрологическим параметрам [4]. Комплекс получил сертификат типа средства измерений и допущен к применению в Российской Федерации.

Мобильный измерительный комплекс ИВК-РАДИО уже больше года успешно используется для контроля параметров устройств радиосвязи на Московской железной дороге, второй в России по общей протяженности железнодорожных путей и наиболее сложной с точки зрения концентрации железнодорожных служб и средств радиосвязи.



Литература

1. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Столкин В.М., Токарев А.Б. Использование панорамного измерительного приемника АРК-Д1ТР в мобильных станциях радиомониторинга АРГУМЕНТ-И. / Специальная техника, 2004, № 5, с. 38 – 49.
2. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Кочкин Д. Е., Чубов Е.А. Использование цифрового измерительного приемника «Аргамак-ИМ» для измерения напряженности поля в мобильных станциях радиомониторинга. / Специальная техника, 2006, № 3, с. 35 – 44.
3. АРК-Д1ТР – приемник панорамный измерительный. Сертификат Госстандарта РФ № 13618 от 03.12.02, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 23924-02.
4. ИВК-РАДИО – комплекс измерительный вычислительный контроля параметров поездной радиосвязи. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Сертификат об утверждении типа средств измерений RU.E.35.018.A № 23203 от 16.03.06, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 31119-06.