

Воробьев Владимир Борисович

**Определение состояния балласта и земляного полотна
железнодорожного пути георадиолокационным методом
в режиме скоростного мониторинга**

Специальность 05.22.06 – «Железнодорожный путь,
изыскание и проектирование железных дорог»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону

2008

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РГУПС)

Научный руководитель :	академик РАН, доктор технических наук, профес
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Свинцов Ел доктор технических наук, профессор Курочка Па
Ведущая организация:	Московский государственный университет путей

Защита состоится «27» декабря 2008 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 218.010.02 при Ростовском государственном университете путей сообщения (РГУПС) по адресу: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового полка народного ополчения 2, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГУПС

Автореферат разослан «26» ноября 2008 года

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 218.010.02
д.т.н., профессор

И. М. Елманов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Экономическое и социальное развитие России привело к росту объемов грузовых и пассажирских перевозок, что требует дальнейшего совершенствования железнодорожной инфраструктуры для увеличения пропускной способности железных дорог.

На решение этой задачи ежегодно выделяются финансовые средства, исчисляемые сотнями миллиардов рублей, в том числе на ремонт железнодорожного пути – более 40 млрд рублей.

Однако в настоящее время качественного улучшения путевой инфраструктуры в полной мере достичь не удастся. Так, протяженность главных путей с просроченным капитальным ремонтом за пять лет (с 2003 по 2007 гг) увеличилась в 1,3 раза, несмотря на повышение объема финансирования в 2,3 раза.

В соответствии с действующими инструкциями диагностика балластного слоя выполняется отбором проб, а земляного полотна – бурением разведочных скважин. Снижение стоимости реконструкционных и ремонтных работ требует, помимо прочего, создания методов неразрушающей диагностики состояния элементов путевой инфраструктуры, которые можно успешно применять при скоростях движения свыше 100 км/час. Для этого целесообразно использование комплексных диагностических поездов, обеспечивающих получение в едином масштабе координат и времени информации по параметрам, влияющим на безопасность движения поездов.

В перечень этих параметров целесообразно дополнительно включить степень загрязнения балласта; состояние основной площадки земляного полотна, оцененное интегрально по числу балластных углублений; влажность балласта и подстилающих грунтов. Для решения этой задачи в работе использован георадиолокационный метод, который обеспечивает получение непрерывной информации о балластной и грунтовой средах в продольном

профиле. Созданию георадиолокационных методик и применению их на железнодорожном транспорте посвящена данная работа. В результате исследований появляется инструментальная возможность назначать ремонты и реконструкции инфраструктуры железнодорожного пути по его реальному состоянию.

Таким образом, **актуальность темы исследований** определяется тем, что в работе созданы и апробированы программно-аппаратные методы систематического скоростного контроля состояния железнодорожного пути.

Целью работы является совершенствование современного метода георадиолокационной диагностики в системе мониторинга железнодорожного пути, разработка новых методов скоростного обследования балластного слоя и земляного полотна и создание методик обработки результатов измерений.

Для достижения указанной цели в работе решены следующие **научные задачи**:

1. Созданы теоретические методы количественного описания характеристик балласта по скорости распространения электромагнитных волн и по затуханию электромагнитного излучения. Выполнена экспериментальная проверка теоретических методов количественного описания характеристик балласта по скорости распространения электромагнитных волн и по затуханию электромагнитного излучения в лабораторных условиях. Установлен характер влияния фракционного состава загрязнителя и его влажности на электрофизические характеристики балласта.

2. Апробированы аппаратно-программные методы качественного и количественного анализа радарограмм при скоростном и детальном обследовании земляного полотна, позволяющие определять дефекты и деформации основной площадки земляного полотна и дать интегральную оценку его технического состояния.

3. Экспериментально обосновано применение:

- спектрального анализа радарограмм для определения переувлажненных областей земляного полотна;

- отражательной способности грунтов для определения областей земляного полотна, аномальных по плотности.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- теоретически получен и экспериментально подтвержден характер зависимости отражательной способности от коэффициента затухания электромагнитного излучения в балластном слое;

- экспериментально установлена степень влияния фракционного состава загрязнителя и его влажности на отражательную способность балласта;

- создан метод количественного описания загрязненности балласта железнодорожного пути по характеру затухания электромагнитного излучения;

- создан скоростной георадиолокационный метод определения загрязненности балласта и определения числа дефектов и деформаций основной площадки на километр пути;

- предложены методики определения технического состояния земляного полотна, основанные на подсчете числа балластных дефектов и деформаций, спектральном анализе радарограмм и их локальной оптической плотности.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Зависимость между относительной отражательной способностью балласта и степенью его загрязнения.

2. Метод определения степени загрязнения балласта железнодорожного пути в режиме скоростного мониторинга.

3. Метод интегральной оценки степени деформативности земляного полотна для протяженных участков железных дорог.

4. Метод оценки влажности подстилающих железнодорожный путь грунтов, основанный на спектральном анализе радарограмм.

Достоверность полученных результатов определяется использованием в теоретических исследованиях современных апробированных представлений волновой теории электромагнитного излучения, современных методов

вычислений и обработки данных, библиотек компьютерных алгоритмов. Все теоретические выводы и созданные методики подтверждались лабораторными и натурными проверками и испытаниями в соответствии с утвержденными в ОАО «РЖД» методиками.

Практическая значимость. Использование георадиолокационных технологий в скоростном режиме в системе мониторинга железнодорожного пути в совокупности с другими геофизическими методами позволит получить достаточно полную и достоверную информацию о состоянии балласта; наличии балластных углублений; однородности материала балластной призмы; возможных разуплотнениях грунтов; зонах наибольших дефектов и деформаций земляного полотна в межреконструкционный период. Эта информация позволяет дать рекомендации по усилению земляного полотна, предупредить аварийные ситуации, повысить качество ремонтов и увеличить межремонтные сроки железнодорожного пути, экономить материальные и технические ресурсы. Результаты исследований нашли практическое применение на объектах Северо-Кавказской и Горьковской железных дорог в процессе текущего содержания, при разработке противодеформационных мероприятий и планировании капитальных ремонтов и реконструкции железнодорожного пути.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены на научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» (Москва, 2003 г.); международной научно-технической конференции (посвящена 100-летию со дня рождения Г.М. Шахунянца) «Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований» (Москва, 2004 г.); Третьей международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика – 2007» (Геленджик, 2007 г.); Четвертой международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика – 2008» (Геленджик, 2008 г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений. Содержание диссертации изложено на 146 страницах, содержит 64 рисунка и 26 таблиц. В библиографию включено 70 наименований литературы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая постановка темы исследований и обоснована ее актуальность, сформулированы решаемые в работе задачи и отмечена научная и практическая ценность разработанных технических решений. Приведены наиболее значимые результаты в виде положений, выносимых на защиту.

Первая глава посвящена анализу возможностей современных геофизических методов в контексте создания высокопроизводительного комплекса неразрушающего контроля, способного к эксплуатации со скоростями движения свыше 100 км/час и выдачей информации в режиме реального времени.

Проанализированы следующие методы: электроразведка, сейсмическая разведка, георадиолокация, магниторазведка, гравиметрия, динамическое и статическое зондирование. Рассмотрены вопросы объединения геофизических методов в комплексы, позволяющие наиболее эффективно получать достоверные результаты о состоянии элементов конструкции железнодорожного пути.

Даны краткие характеристики наиболее подходящих для организации скоростного мониторинга подвижных единиц: путеобследовательской станции ЦНИИ-4М, диагностического комплекса СПМ-18, путеизмерителя КВЛП, диагностического комплекса «Интеграл», а также обоснован выбор метода георадиолокации, как наиболее перспективного для решения поставленной задачи.

В заключении первой главы сформулирована основная задача исследования: создание и апробация аппаратных комплексов мониторинга пути в скоростном режиме диагностики и методик обработки его результатов.

Вторая глава посвящена разработке метода определения загрязнения балластной призмы железнодорожного пути георадиолокационным методом. Рассмотрены способы решения этой задачи по скорости распространения электромагнитного излучения и по характеру затухания электромагнитного излучения в балластном слое.

Скорость распространения электромагнитного излучения в среде зависит от его диэлектрической проницаемости (ϵ). Поэтому в первом случае для определения степени загрязнения балластного слоя (W) необходимо:

- 1) выполнить построение градуировочной зависимости:

$$\epsilon = \epsilon(W); \quad (1)$$

- 2) определить георадиолокационным методом зависимость:

$$\epsilon = \epsilon(s); \quad (2)$$

где s – координата вдоль железнодорожного пути;

- 3) привести эту зависимость с учетом градуировочной зависимости (1) к виду:

$$W = W(s). \quad (3)$$

Основной недостаток этого метода заключается в необходимости выполнения большого количества натурных измерений толщины балластного слоя и уточнения зависимости (2).

В работе показано, что в приближении плоской волны и без учета дисперсии трассу георадиолокационного обследования изотропной среды можно представить в виде:

$$F(r) = f(r)e^{-\rho r},$$

где ρ – коэффициент затухания электромагнитного излучения, r – координата слоя, а функция $f(r)$ учитывает форму исходного импульса электромагнитного излучения, все механизмы отражения импульса от слоя

грунта и особенности конструкции приемной антенны.

Поэтому во втором случае метод строится на определении относительной отражательной способности балластного слоя толщиной r_m , определяемой в виде:

$$\Sigma_{отн} = \Sigma_m / \Sigma_0, \quad (4)$$

$$\Sigma_0 = \int_0^{\infty} |F(r)| dr, \quad \Sigma_m = \int_0^{r_m} |F(r)| dr$$

где

Выражение (4) можно преобразовать к виду:

$$\Sigma_{отн} \approx 1 - e^{-\rho r_m}. \quad (5)$$

Тогда для определения степени загрязнения балластного слоя необходимо:

- 1) выполнить построение градуировочной зависимости:

$$\Sigma_{отн} = \Phi(W), \quad (6)$$

- 2) определить зависимость:

$$\Sigma_{отн} = \Sigma_{отн}(s), \quad (7)$$

где s – координата в железнодорожной системе отсчета;

- 3) привести эту зависимость с учетом (6) к виду:

$$W = W(s). \quad (8)$$

При определении степени загрязнения балластного слоя используется высокочастотное излучение, которое быстро затухает в среде. Это снимает требование точного позиционирования его нижней границы, которое является принципиально важным при реализации первого способа.

В заключении второй главы проанализировано поведение зависимости (5) при различных значениях коэффициента затухания, что необходимо для его лабораторной и натурной проверки. Получено, что при уменьшении затухания ($\rho \rightarrow 0$) относительная отражательная способность мала:

$$\Sigma_{отн} = 1 - e^{-\rho r_m} \rightarrow 0 \quad (9)$$

При малом коэффициенте затухания ($\rho < 1/r_m$) и с учетом слагаемых до первого порядка малости по ρr_m наблюдается линейное возрастание исследуемой величины с ростом загрязнения балласта:

$$\Sigma_{отн} = 1 - e^{-\rho r_m} = \rho r_m \quad (10)$$

С ростом коэффициента затухания ρ исследуемая величина относительной отражательной способности экспоненциально стремится к постоянной величине:

$$\Sigma_{отн} = \lim_{\rho \rightarrow \infty} (1 - e^{-\rho r_m}) = 1 \quad (11)$$

В третьей главе полученные теоретические соотношения, связывающие оцениваемую загрязненность и относительную отражательную способность балласта, проверены системными лабораторными экспериментами и натурными измерениями.

В процессе экспериментов варьировались состав загрязнителя, степень загрязненности, фракционный состав загрязнителя и его влажность. В частности, показано, что при малых концентрациях (до 25 %) относительная отражательная способность балласта линейно зависит от загрязненности (рис. 1), что следует из теоретической зависимости (10).

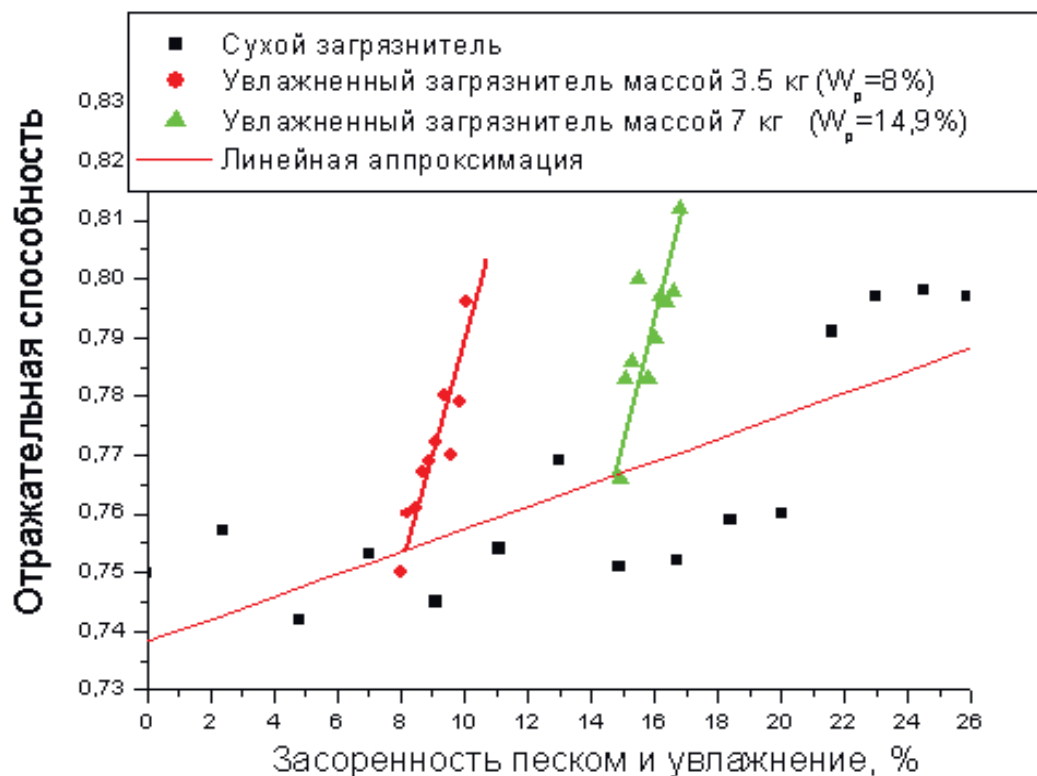


Рис. 1. Результаты лабораторных измерений зависимости отражательной способности балласта от загрязнения и влажности

При дальнейшем росте концентрации загрязнителя зависимость меняется на экспоненциальную (рис. 2), что следует из формул (6), (11). При малой влажности загрязнителя относительная отражательная способность зависит от нее линейно (см. рис. 1). Чувствительность метода к влажности загрязнителя примерно в 8 раз выше, чем к его концентрации.

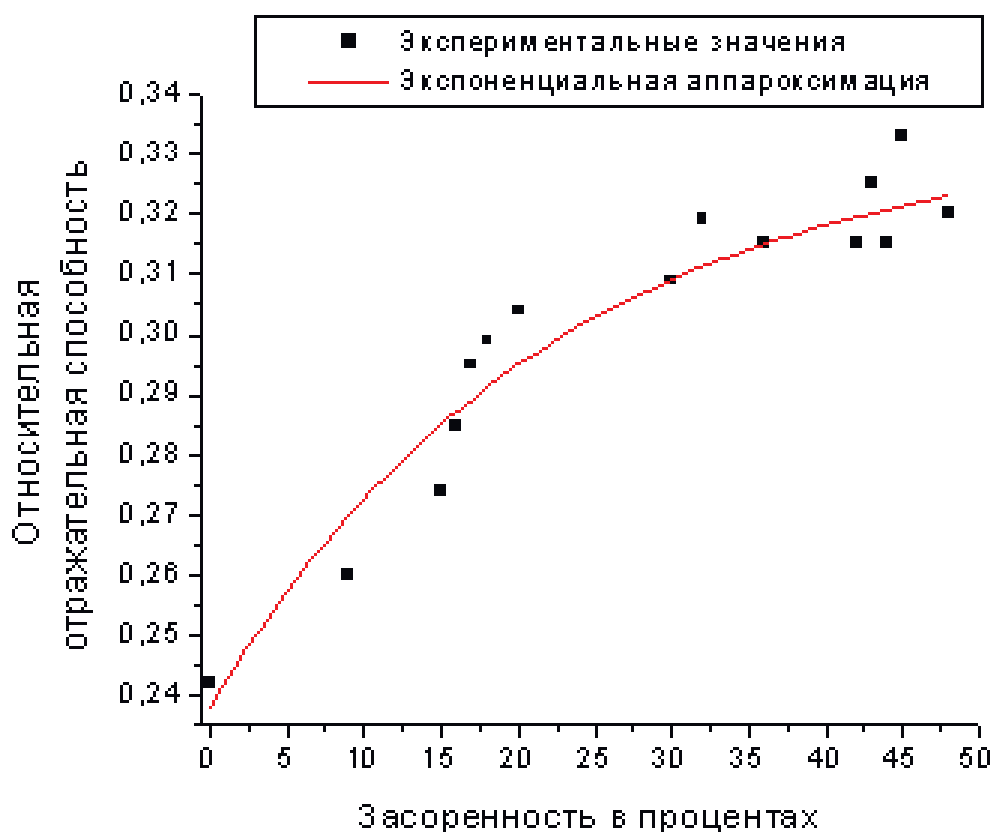


Рис. 2. Результаты натурных измерений зависимости отражательной способности балласта от загрязнения

В заключении третьей главы проанализированы достоинства и недостатки разработанных методов и мотивирован выбор метода определения загрязненности балласта по характеру затухания электромагнитного излучения для выполнения натурных испытаний, а также сформулированы выводы из теоретических и лабораторных исследований.

В четвертой главе для получения непрерывной информации о загрязненности балласта метод адаптирован к условиям железнодорожной инфраструктуры.

При значительных объемах обследования георадарный комплекс может быть установлен на подвижной состав (вагон-путеизмеритель или вагон-дефектоскоп, мотодрезину, локомотив и др.), например, как показано на рис. 3.



Рис. 3. Размещение георадара на АДМ-500 при обследовании участков Минераловодской дистанции пути и на вагоне-дефектоскопе при обследовании перегона Батайск-Азов Северо-Кавказской железной дороги

Для расчета загрязнения балласта информация, получаемая с помощью георадиолокационного комплекса, должна быть подвергнута обработке в соответствии с разработанной методикой (формулы 6-8), что потребовало проведения дополнительных исследований по уточнению градуировочной зависимости (5).

Лабораторные эксперименты и многочисленные натурные измерения на перегонах Ростов – Туапсе и Ростов – Минеральные Воды позволили установить, что существенное влияние на значения относительной отражательной способности оказывает расположение антенного блока относительно верхней границы балласта. Кроме этого, отражательная способность зависит от проводимости балласта, т.е. от его влажности, химического и структурного состава загрязнителя (глава 3).

Для учета этих обстоятельств и преодоления допущений при выводе (5) в качестве градуировочной кривой (6) использовано соотношение:

$$\Sigma_{отн.} = C(w) - C_1(w)e^{-\rho(w)r_m}, \quad (12)$$

где w – влажность в процентах.

Значения входящих в (12) коэффициентов уточнены в процессе лабораторных и натурных экспериментов для высоты поднятия антенного

блока АБ-1200 МГц, оснащенного рупором, на высоту 0,15 метра над головкой рельса:

$$\begin{aligned} C(w) &= 0.34 + 0.01 * w; \\ C_1(w) &= 0.10 + 0.01 * w; \\ \rho(w) &= (22.27 - 1.09w)^{-1}. \end{aligned} \quad (13)$$

Оказалось, что значения коэффициентов C и C_1 практически не зависят от влажности (погрешность измерений порядка 5 %). Семейство кривых (12) для некоторых значений влажности приведено на рис. 4.

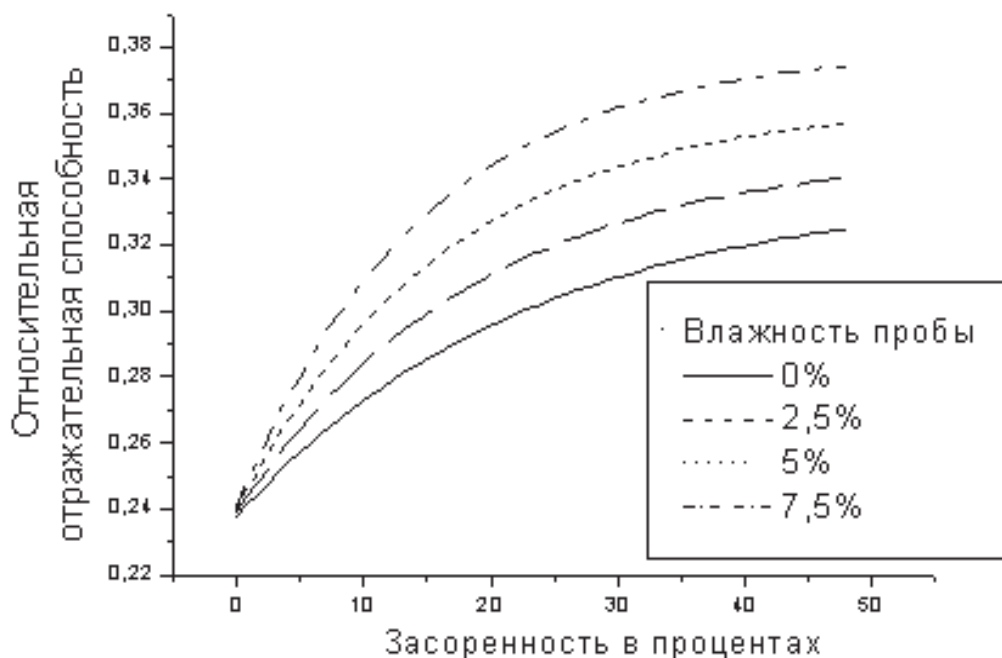
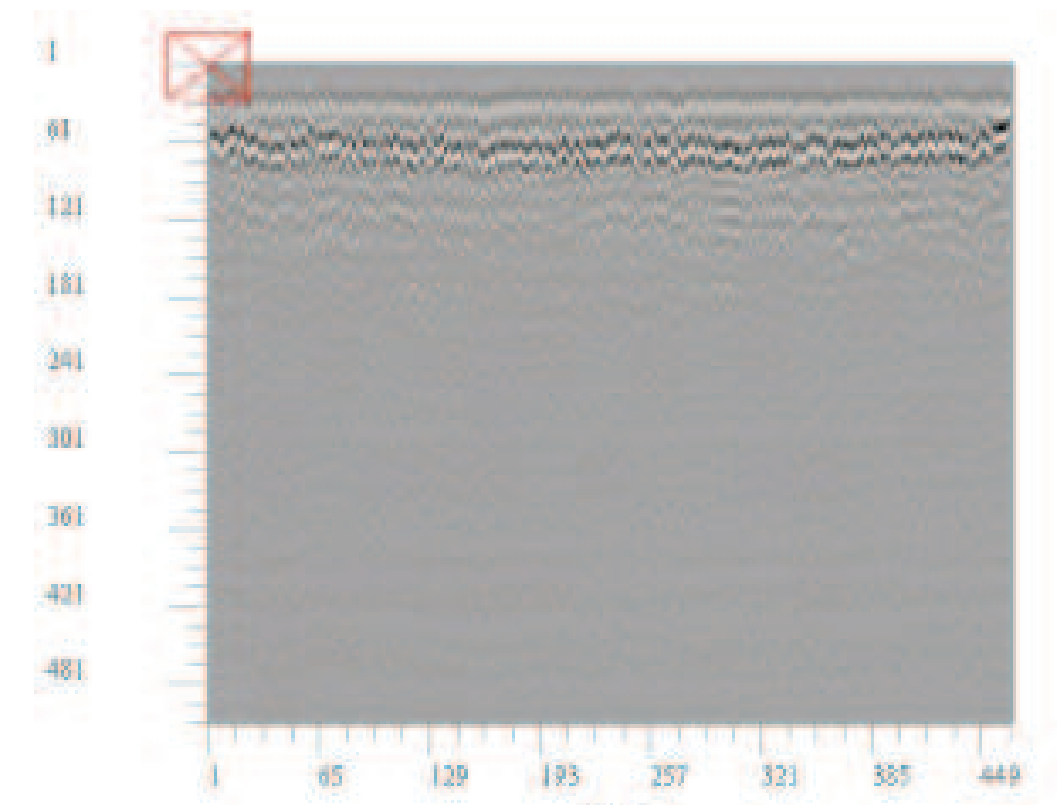
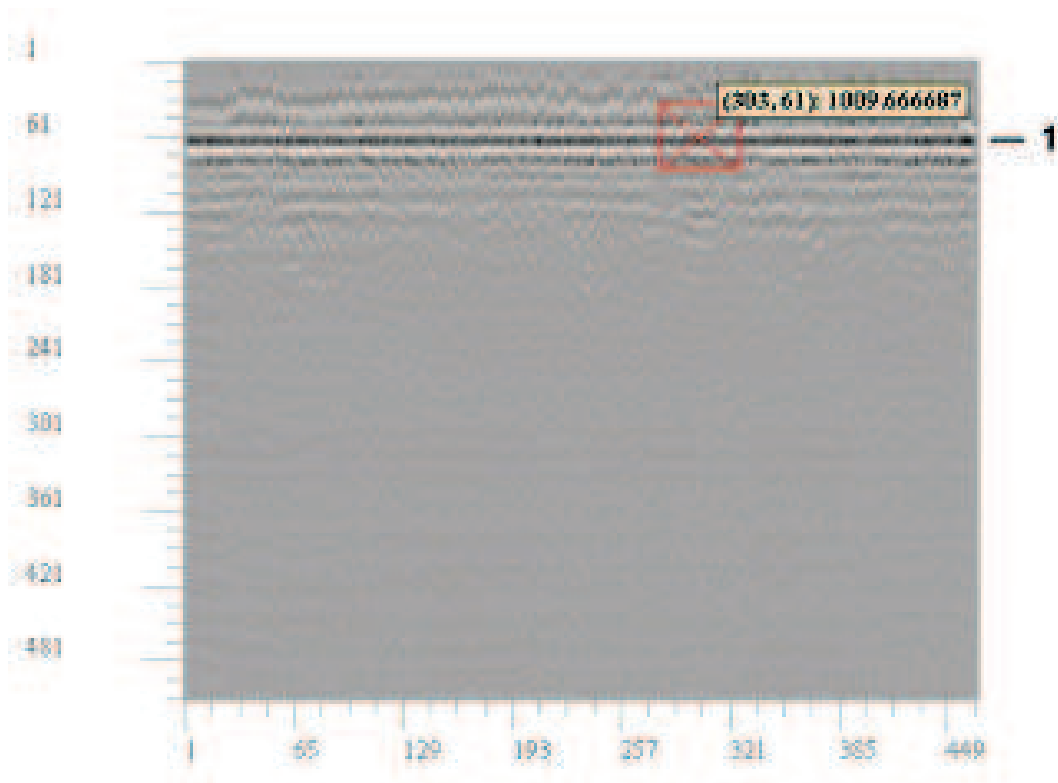


Рис. 4. Семейство кривых (12) для некоторых значений влажности

Большой объем получаемой георадиолокационной информации при натурных измерениях требует создания специальных программ для ЭВМ. Разработанная в процессе исследований программа позволяет выполнить подавление колебания подвеса (рис. 5), определение положения нижней постели (подошвы) шпал и границы балластного слоя, выбраковку дефектных трасс (рис. 6), а также фильтрацию помех.



А



Б

Рис. 5. Радарограмма (Б) после подавления колебаний подвеса
в исходной радарограмме (А)

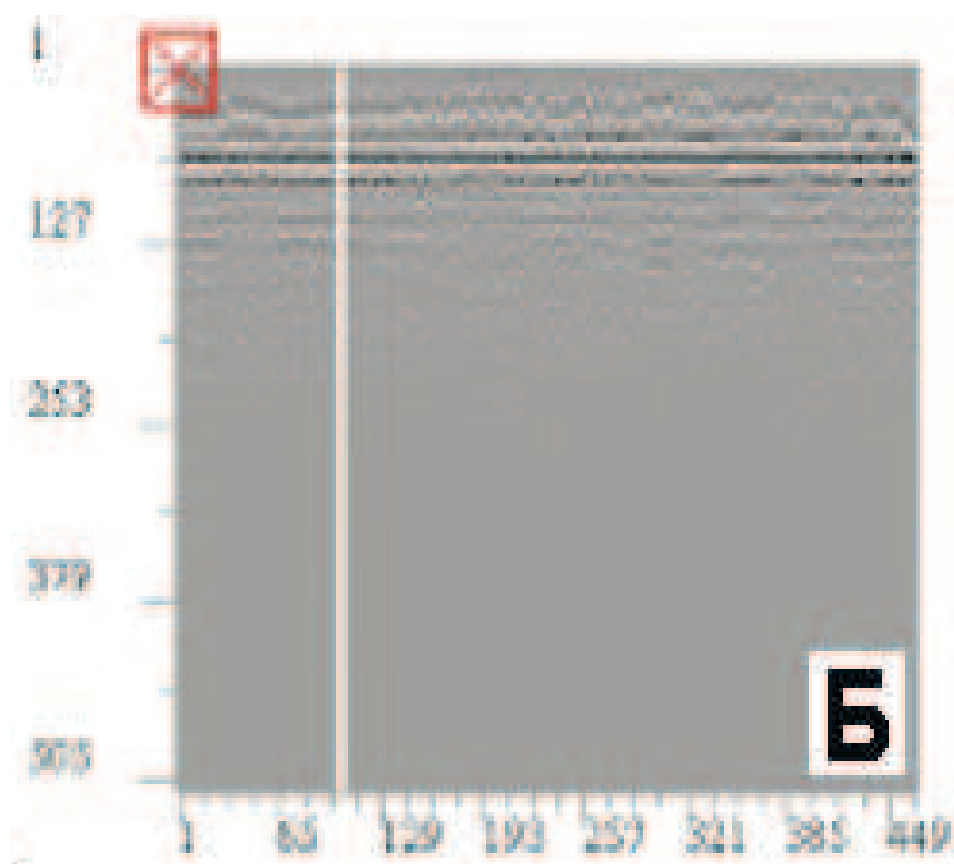
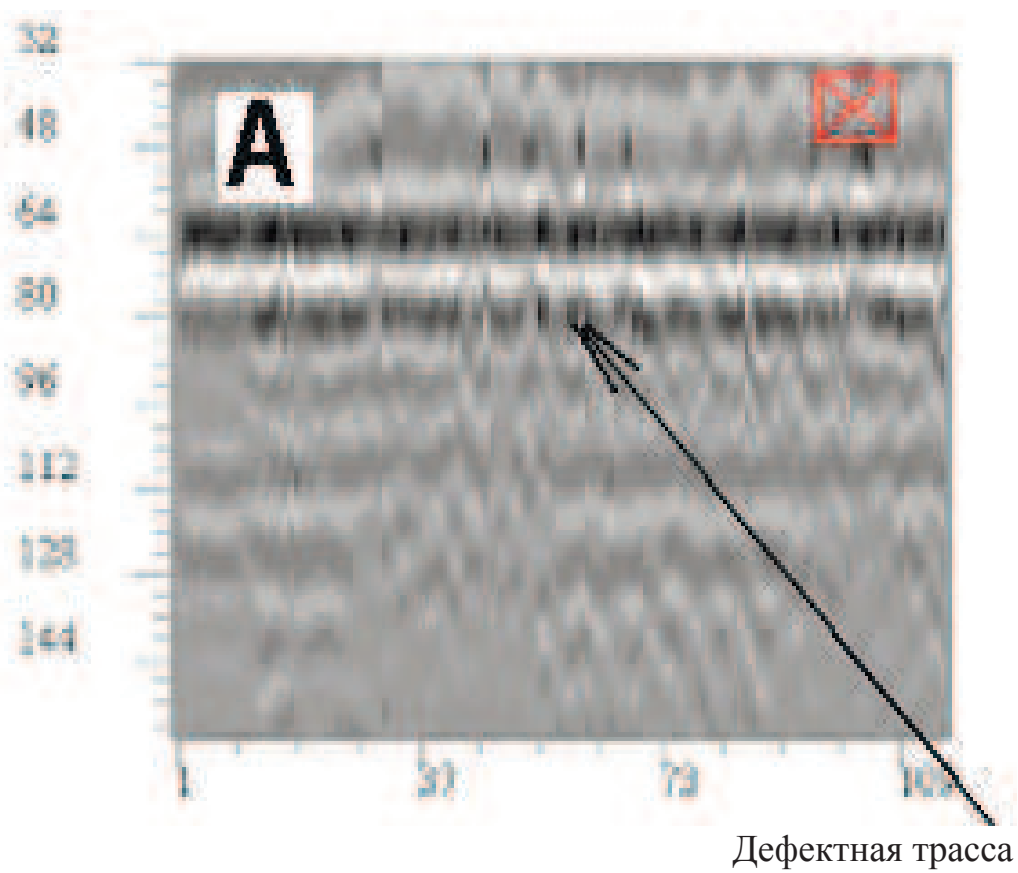


Рис. 6. Радарограмма (Б) после отбраковки дефектных трасс (указана

стрелкой на увеличенном фрагменте (А))

Рассчитанная затем относительная отражательная способность сопоставляется с градуировочной зависимостью (12). При компьютерной обработке результатов георадиолокационных обследований предусмотрены режимы реального времени и камеральной обработки.

Результаты обработки отображаются на экране монитора в виде бегущей полосы (рис. 7).

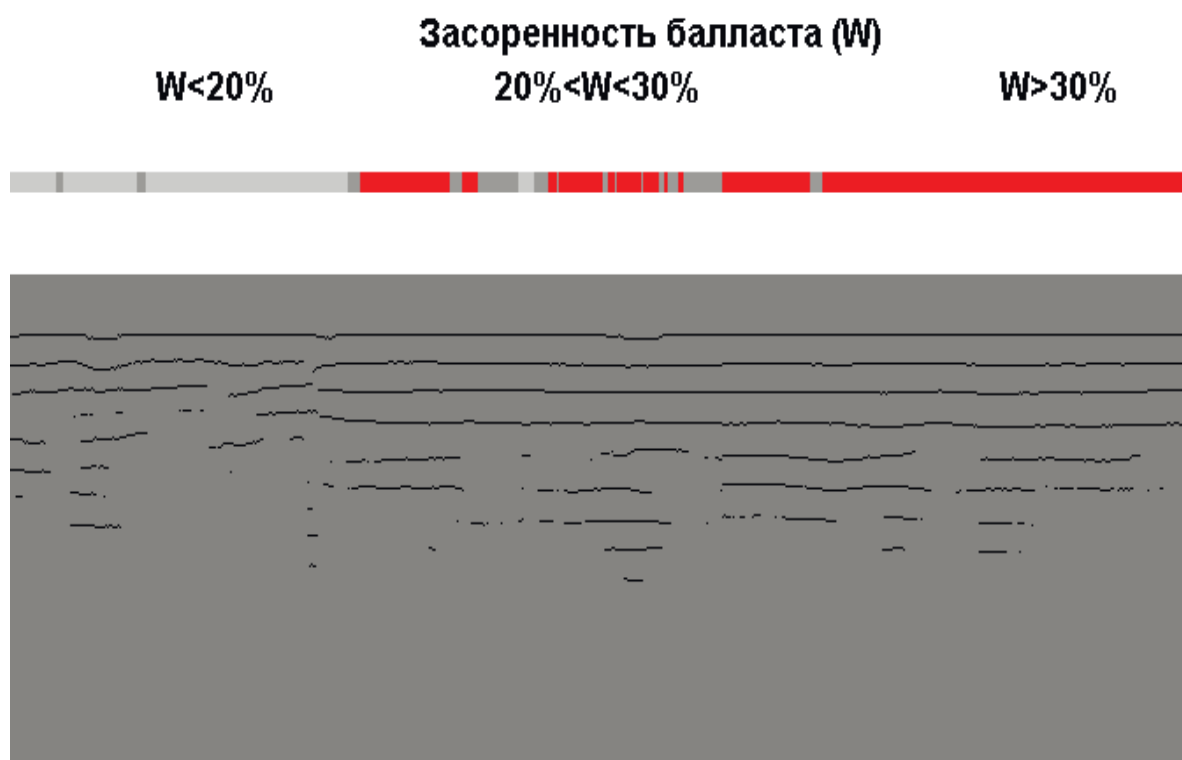


Рис. 7. Отражение результатов расчета загрязненности балласта на экране монитора

При обработке принято задавать цвет полосы: светло-серые – если загрязненность не превышает 20 %, темно-серые при загрязненности 20-30 %; красные – свыше 30 %.

Одновременно с представлением результатов расчета на экране монитора формируется соответствующая таблица в результирующем файле. В таблице приводятся средние значения загрязненности на интервале, заданном оператором, например, между километровыми или пикетными столбами (рис. 8).

Привязка результатов расчета к железнодорожной системе отсчета формируется с использованием GPS/ГЛОНАСС-технологий.

Километр	Загрязненность
4	20-30 %
5	20-30 %
6	< 20 %
7	20-30 %

Рис. 8. Фрагмент таблицы результатов обследования на перегоне Батайск – Ростов

Пятая глава посвящена дальнейшему развитию георадиолокационного метода как элемента геофизического комплекса, призванного обеспечить оперативное получение достоверной информации о состоянии элементов железнодорожного пути. В частности, рассмотрены особенности:

- обследования основной площадки земляного полотна при работе с подвижного экипажа в летний и зимний период времени;
- детальной диагностики насыпей и их оснований.

Эксперименты выполнялись на перегонах Минеральные воды – Кисловодск Северо-Кавказской железной дороги, Дзержинск – Сейма и Пешелань – Арзамас Горьковской железной дороги.

Обработка результатов мониторинга позволила определить деформативность протяженных участков железнодорожного пути на основе подсчета числа балластных углублений. Подсчет числа дефектов и деформаций осуществлялся в автоматическом режиме компьютерной программой (рис. 9, вертикальными метками обозначено положение пикетных столбиков).

Режим детального обследования основной площадки и оснований насыпей реализован в работе на перегонах Северо-Кавказской и Горьковской железных дорог. В качестве примера на рис. 10 приведены результаты вычисления частотного спектра радарограммы и ее фрагмента, полученной

с использованием антенного блока АБ-400 МГц по оси пути на перегоне Пешелань – Арзамас (227 км, Пк 6+21 – Пк 6+24) Горьковской железной дороги. Видно, что переувлажнение земляного полотна приводит к низкочастотному сдвигу наиболее вероятной частоты спектра, что может использоваться для оценки сезонной влажности пути.

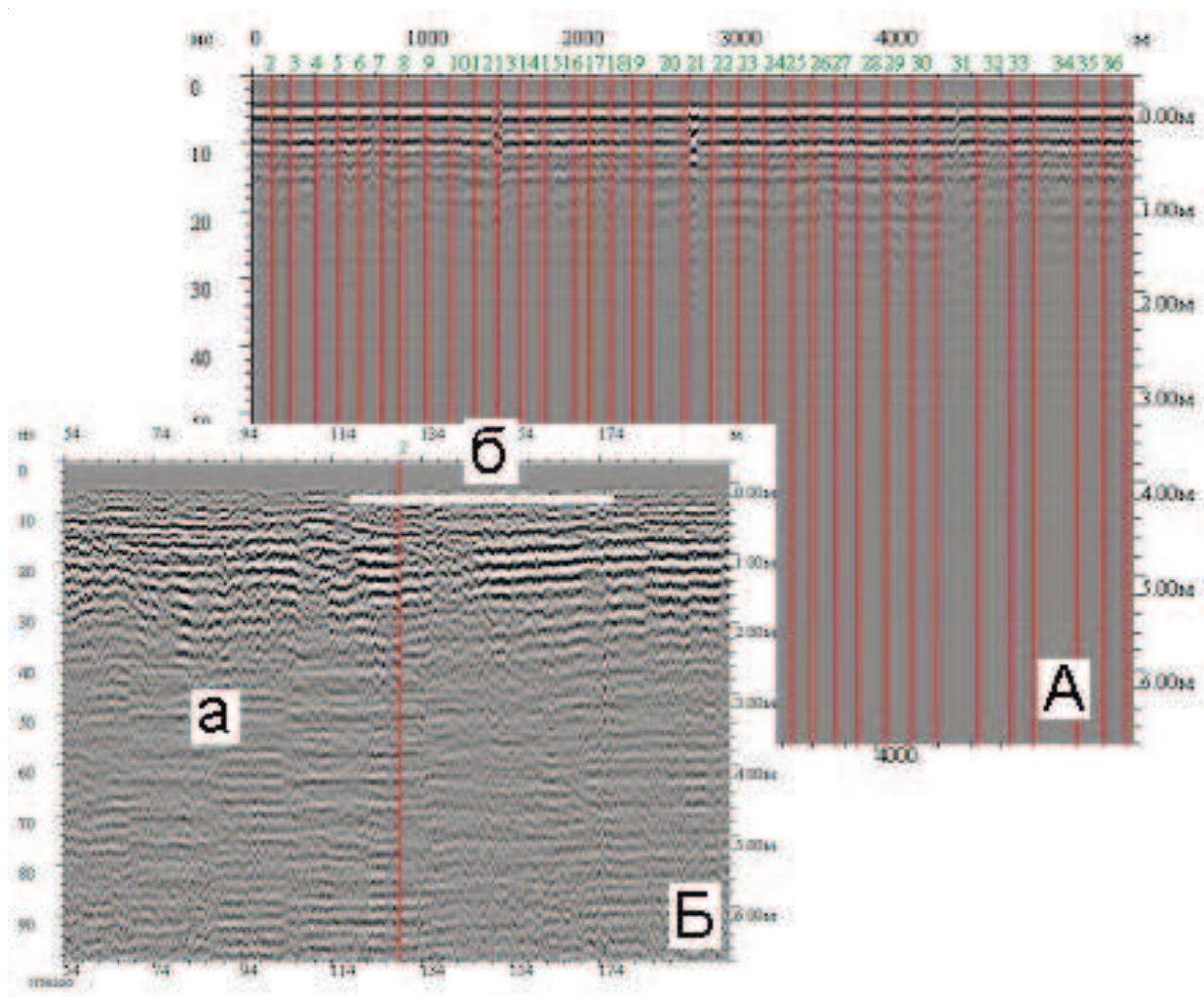


Рис. 9. Некоторые результаты обследования земляного полотна перегона Минеральные воды – Кисловодск Северо-Кавказской железной дороги: «А» – фрагмент протяженностью 4 км; «Б» – увеличенный фрагмент, содержащий балластное углубление (а) и понижение нижней границы балластного слоя (б)

Помимо этого в главе предложена методика, связывающая результаты количественной интерпретации георадиолокационной информации (локальные

минимумы отражательной способности грунта) с областями разуплотнения грунта. На рис. 11 приведены результаты расчета отражательной способности грунта (3) до глубин 25 метров у основания насыпи на участке Дзержинской дистанции пути (394 км ПК 9 – 395 ПК5+55) Горьковской железной дороги.

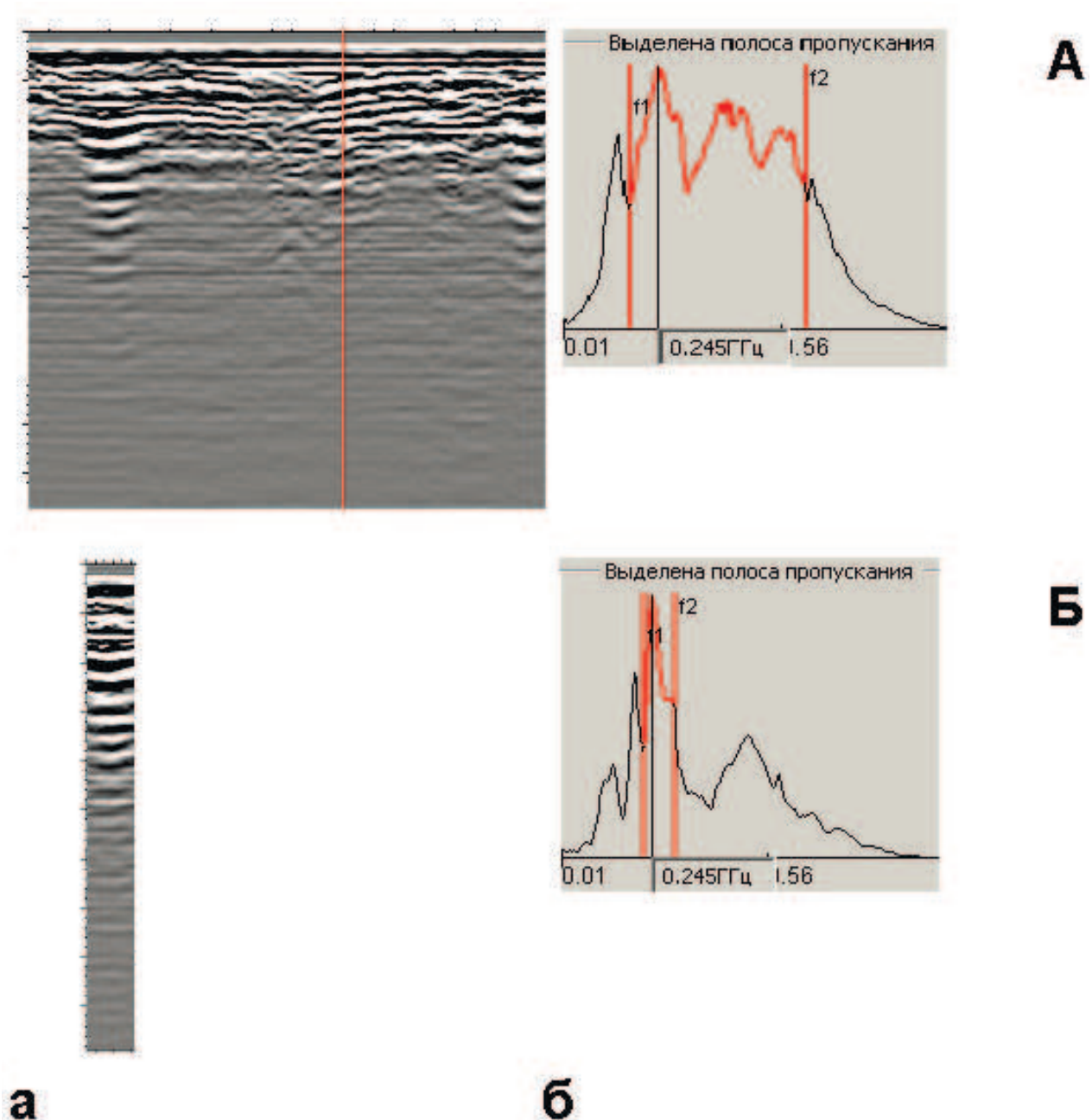


Рис. 10. Частотные спектры (Аб и Бб) радарограммы (Аа) и ее переувлажненного фрагмента (Ба)

Два локальных минимума этой зависимости находятся в области

расположения инженерных конструкций (отмечены на рис. 11 вертикальными линиями), стабилизирующих путь в области основной площадки.

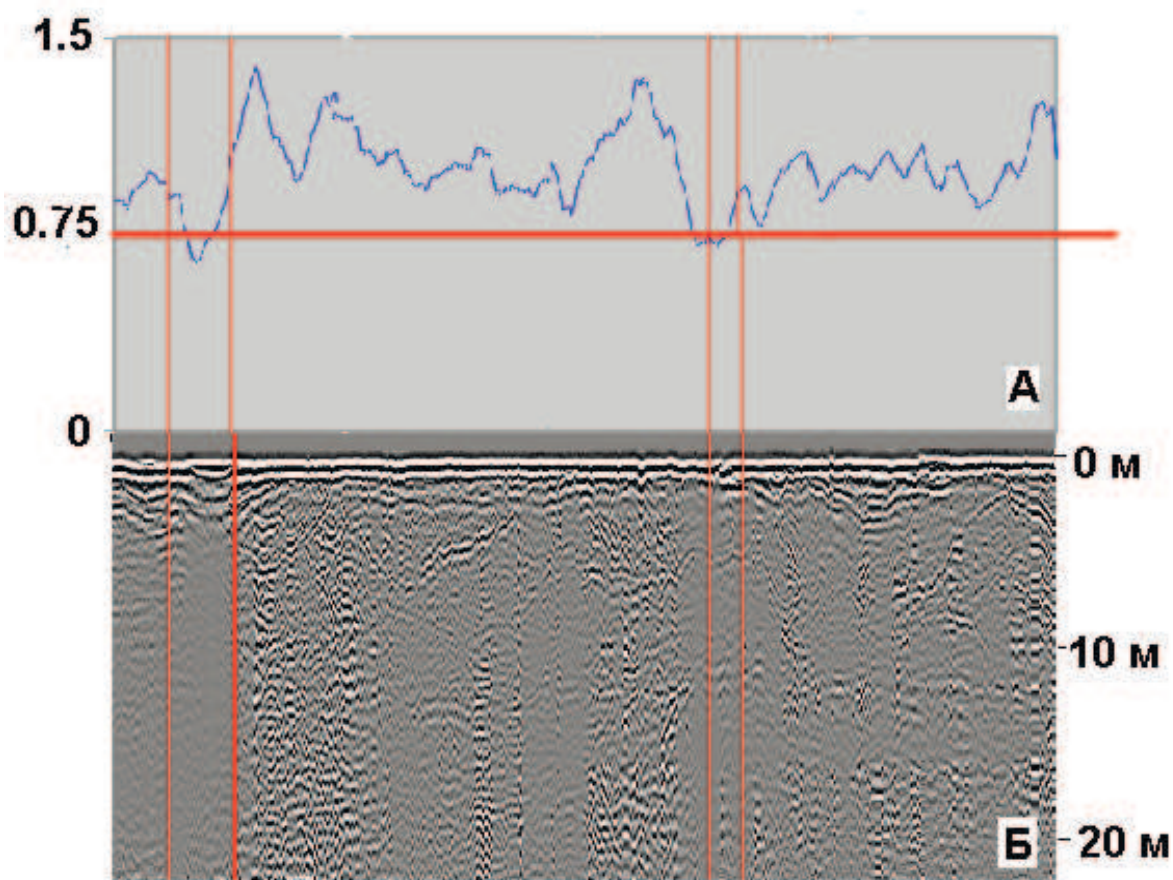


Рис. 11. Результаты расчета отражательной способности грунта в основании насыпи (А), полученные с использованием радарограммы (Б)

Таким образом, интерпретация радарограмм может помочь локализовать наиболее вероятные области разуплотнения подстилающих грунтов.

Основные результаты работы:

1. Выполнен анализ методов диагностики балластного слоя и земляного полотна для ремонтов пути с учетом существующих нормативных документов. Определена необходимость их совершенствования.

2. Разработаны георадиолокационные методы определения загрязнения балласта, обеспечивающие своевременное планирование ремонтов пути.

3. Теоретически определен и практически проверен вид закономерности, связывающей относительную отражательную способность и загрязнение балластного слоя.

4. Выполнены измерения относительной отражательной способности щебня фракции 25-60 мм. Показано, что при малых концентрациях (до 25 %) относительная отражательная способность линейно зависит от загрязненности. При дальнейшем росте концентрации зависимость меняется на экспоненциальную. Установлено, что при малой влажности загрязнителя относительная отражательная способность линейно зависит от влажности; чувствительность метода к влажности загрязнителя примерно в 8 раз выше, чем к его концентрации.

5. На основе экспериментальных исследований получена система градуировочных зависимостей отражательной способности от загрязнения для различной влажности балласта.

6. Созданы алгоритмы и программные модули для ЭВМ, позволяющие осуществлять мониторинг загрязненности балласта и количества дефектов и деформаций балластного слоя на километр пути в скоростном режиме. Предусмотрено использование программных модулей в режиме реального времени и камеральной обработки.

7. Разработаны и экспериментально подтверждены методики оценки влажности земляного полотна по анализу частотного спектра радарограмм и плотности подстилающих грунтов по отражательной способности.

8. Георадиолокационная информация, получаемая в результате скоростного мониторинга с помощью разработанных методик, позволяет обеспечить эффективность планирования и организации ремонтов железнодорожного пути с использованием высокопроизводительных путевых машин, обеспечивающих глубокую очистку балласта, а также контроль качества выполняемых работ.

9. Основные результаты работы апробированы на Северо-Кавказской и

Горьковской железных дорогах – филиалах ОАО «РЖД».

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

1. **Колесников, В.И.** Стабильность земляного полотна и георадиолокационная диагностика / В.И. Колесников, В.Б. Воробьев, В.А. Явна, В.И. Грицык // Безопасность движения поездов: сб. тр. науч.-практ. конф. – М.: МИИТ, 2003. – Т. III. – С. 21.

2. **Колесников, В.И.** Особенности обработки георадиолокационных данных, получаемых в непрерывном скоростном режиме / В.И. Колесников, В.А. Явна, В.Б. Воробьев, В.В. Ковдус, В.В. Шаповалов // Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – М.: МИИТ, 2004. – Т. II. – С. 42-43.

3. **Колесников, В.И.** Математическая формализация задачи интерпретации георадиолокационного обследования объектов железнодорожного пути / В.И. Колесников, В.А. Явна, В.Б. Воробьев, В.И. Грицык, В.Л. Шаповалов, М.В. Окост // Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – М.: МИИТ, 2004. – Т. II. – С. 43-44.

4. **Колесников, В.И.** Использование подвижного состава для георадиолокационной диагностики железнодорожного пути / В.И. Колесников, В.А. Явна, В.Б. Воробьев, В.В. Помозов, А.В. Дудник // Инженерная и рудная геофизика-2007: сб. науч. тр. 3-й междуар. науч.-практ. конф. – Геленджик: ЕАГЕ, 2007. – С. 147-149.

5. **Колесников, В.И.** Георадиолокационная диагностика пути / В.И. Колесников, В.Б. Воробьев, В.А. Явна, А.Б. Киреевнин, В.В. Помозов, А.В. Дудник // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – №3. – С. 19-21.

6. **Воробьев, В.Б.** Применение метода георадиолокации на Горьковской железной дороге / В.Б. Воробьев // Вестник РГУПС. – 2007. – №3.

– С. 118-122.

7. **Воробьев, В.Б.** Оценка засоренности балласта железнодорожного пути методом георадиолокации / В.Б. Воробьев, В.И. Колесников, В.А. Явна // Инженерная и рудная геофизика 2008: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Геленджик: EAGE, 2008. – С. 2.

8. **Колесников, В.И.** Улучшение взаимодействия пути и подвижного состава / монография / В.И. Колесников, В.Б. Воробьев, В.В. Шаповалов, М.Б. Шуб. – М.: Маршрут, 2006. – 365 с.

9. **Воробьев, В.Б.** Техногенная подсистема «Путевой комплекс железной дороги» / В.Б. Воробьев, В.М. Григорьев, Г.И. Тараненко // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – №7. – С. 5-7.

10. **Воробьев, В.Б.** Моделирование физических процессов в элементах конструкции железнодорожного пути / В.Б. Воробьев // Вестник РГУПС. – 2008. – №3. – С. 106-112.

Воробьев Владимир Борисович

**Определение состояния балласта и земляного полотна
георадиолокационным методом в режиме скоростного мониторинга**

Специальность 05.22.06 – «Железнодорожный путь,
изыскание и проектирование железных дорог»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати Формат 60x84/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100.

Заказ №

Ростовский государственный университет путей сообщения

Ризография РГУПС

Адрес университета: 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского
Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2.