

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ¹

Морозов А.В.

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный университет путей сообщения», Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: cpd@rgups.ru

В работе рассмотрены результаты применения специализированного программно-аппаратного комплекса для диагностики балласта. Проведена оценка эффективности работы алгоритмов обработки радарограмм и достоверности получаемых данных. Полученная средствами программного комплекса, информация о загрязненности, толщине и однородности балластного слоя может использоваться для оценки качества выполненных ремонтов железнодорожного пути.

Ключевые слова: георадиолокация, диагностика, балласт, загрязненность, программный комплекс, ремонт.

HARDWARE AND SOFTWARE PACKAGE FOR THE INSPECTION OF RAILWAY

Morozov A.V.

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: cpd@rgups.ru

Paper generalizes the results of the use of specialized hardware and software package for the diagnosis of ballast. The efficiency of georadar data processing and its reliability is assessed. The information on pollution, thickness and uniformity of ballast obtained by means of software package may be used to evaluate the quality of completed railway repairs.

Keywords: georadar, GPR, diagnostics, ballast, pollution, software system, repair.

Обеспечение безопасности движения поездов стимулирует развитие методов диагностики [1], включая скоростные, которые позволяют получать непрерывную информацию о фактическом состоянии балласта и земляного полотна на протяженных участках железнодорожного пути [2].

Среди скоростных методов диагностики в последние годы наиболее интенсивно развивается метод георадиолокации [3].

Данная работа посвящена созданию программно-аппаратного комплекса (ПАК) для скоростной диагностики состояния балластной призмы. В зависимости от характера решаемых задач разработанный ПАК можно использовать в составе подвижных средств – вагонов, диагностических комплексов, мотодрезин и др.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты №: 11-07-00172-а, 11-08-13140-офи-м-2011-РЖД

ПАК обеспечивает выявление аномальных мест при обследовании пути в скоростном режиме для последующей детальной диагностики комплексами геофизических методов [4]. В качестве критериев выбора таких участков ПАК использует загрязненность, толщину балластного слоя, однородность балластного слоя (число наблюдаемых слоев в балластной призме) и степень деформативности (крутизну слоев в балластных углублениях).

Метод позиционирования ПАК в железнодорожной системе координат

При скоростной диагностике пути принципиально важной задачей является привязка георадиолокационных трасс к железнодорожной пикетной системе координат. При размещении на подвижных единицах, не оборудованных собственными системами позиционирования, ПАК используют ГЛОНАСС/GPS-технологии и электронную карту пути.

Алгоритм действий ПАК по привязке георадиолокационной информации к пикетной системе координат следующий:

- из информации, формируемой при регистрации георадиолокационной трассы, выделяется время ее создания – T ;
- по данным, полученным со спутника, определяются глобальные географические координаты положения комплекса (φ – широта, ν – долгота) в момент времени T . Эта информация позволяет привязать радарограммы к глобальным координатам;
- используя электронные карты пути, содержащие глобальные координаты φ и ν пикетных железнодорожных столбов и объектов инфраструктуры, несложно получить положение трассы в принятой на железных дорогах системе отсчета.

На рис. 1 приведен фрагмент радарограммы, полученной при обследовании участка Сочи–Туапсе после применения вышеописанного алгоритма. Вертикальными линиями отмечены параметры километр/пикет в проектной системе отсчета.

При проведении георадиолокационных работ в составе комплексов, имеющих собственную систему синхронизации и позиционирования данных в железнодорожной системе координат (например, диагностический комплекс «ИНТЕГРАЛ» ГК «ТВЕМА»), ПАК использует данные привязки этой системы или выполняет вышеописанный алгоритм.

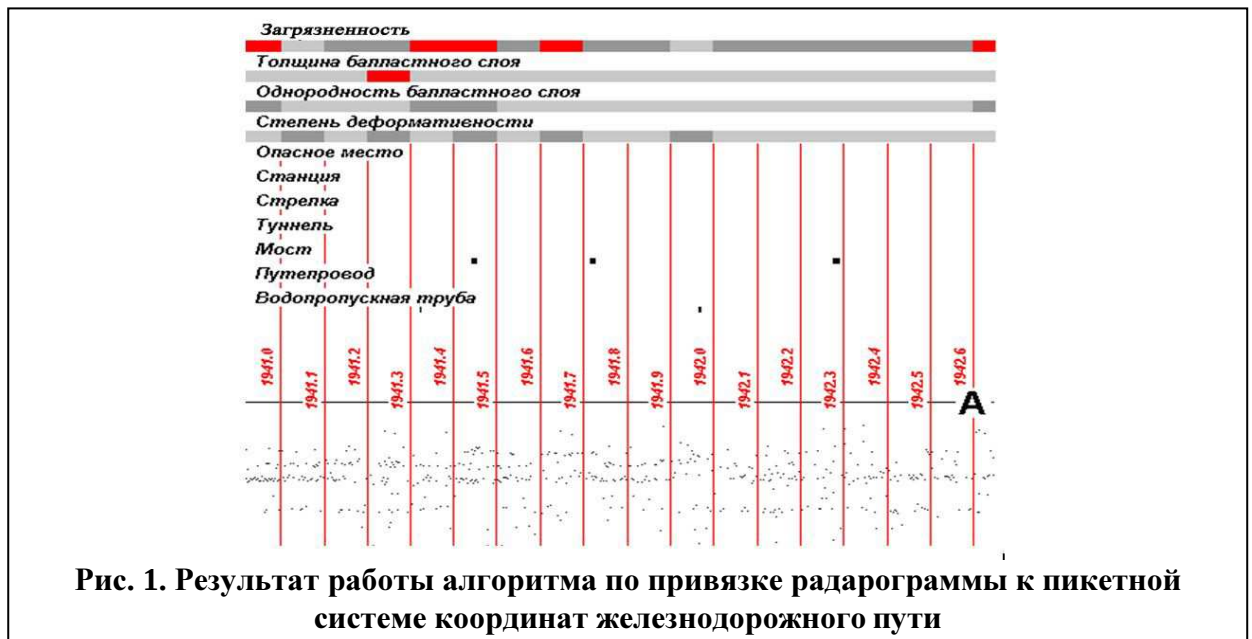


Рис. 1. Результат работы алгоритма по привязке радарограммы к пикетной системе координат железнодорожного пути

Помимо положения километровых/пикетных столбов, на приведенной радарограмме отмечены искусственные сооружения, оси которых содержатся в электронной карте пути, а также усредненные характеристики балласта: «Загрязненность», «Толщина балластного слоя», «Однородность балластного слоя» и «Степень деформативности».

Остановимся на содержании этих характеристик подробнее.

Загрязненность балластного слоя

Характер распространения высокочастотного электромагнитного излучения в среде зависит от ее электрической проводимости и диэлектрических свойств. Электрофизические свойства балластного материала могут существенным образом изменяться при его загрязнении диффундирующим грунтом, переносимой под действием природных факторов пылью, просыпающимися на путь песком, частицами перевозимых инертных грузов, горюче-смазочными материалами и др.

Импульс георадара, распространяясь в балласте, теряет свою энергию за счет поглощения проводящей средой и рассеяния от имеющихся неоднородностей и слоев. Обозначим $F(r_i)$ – сигнал, регистрируемый приемной антенной георадара с глубины r_i и обычно называемый трассой радарограммы [5]. Общее количество точек регистрации трассы N зависит от типа и настроек используемого оборудования. В дальнейшем будем называть «полосой балластного слоя» участок с указанными границами, измеренными от верхней точки балластной призмы. Назовем отражательной способностью полосы балластного слоя толщиной $\Delta r_{m,n} = r_m - r_n$ величину:

$$\Sigma_{n,m} = \sum_{i=n,m} |F(r_i)|, \quad (1)$$

где m и n – соответственно нумерация нижней и верхней границ выбранного слоя в трассе. Она зависит от электрофизических свойств балластного слоя и может служить мерой его загрязненности. Однако для получения количественных характеристик загрязнения необходимо учесть зависимость (1) от влажности, особенностей используемого георадиолокационного оборудования и способа его размещения на используемом для диагностики подвижном составе [6].

Средняя загрязненность на пикете

Для определения средней загрязненности на километровых участках, приведенных в табл. 1, выполнено 40 просеивов балластного материала согласно Методическим указаниям. При использовании диапазонов загрязненности (0–20%, 20–30% и свыше 30%) [7] сравнение результатов просеива и расчета имеет следующий вид. Среди 40 измерений – диапазоны 24 совпали с рассчитанными, 13 измерений принадлежат соседним диапазонам.

Таблица 1 – Средние значения загрязненности

Номер на рисунках	Километр	Средняя загрязненность, %
1	1929	3
2	1907	18
3	1958	20
4	1916	23
5	1942	30
6	1968	34

Сравнение результатов просеива и расчета, выполненного с использованием формулы (1) с толщиной полосы балластного слоя 0,30–0,60 м для 1907 км и 1968 км, приведено на

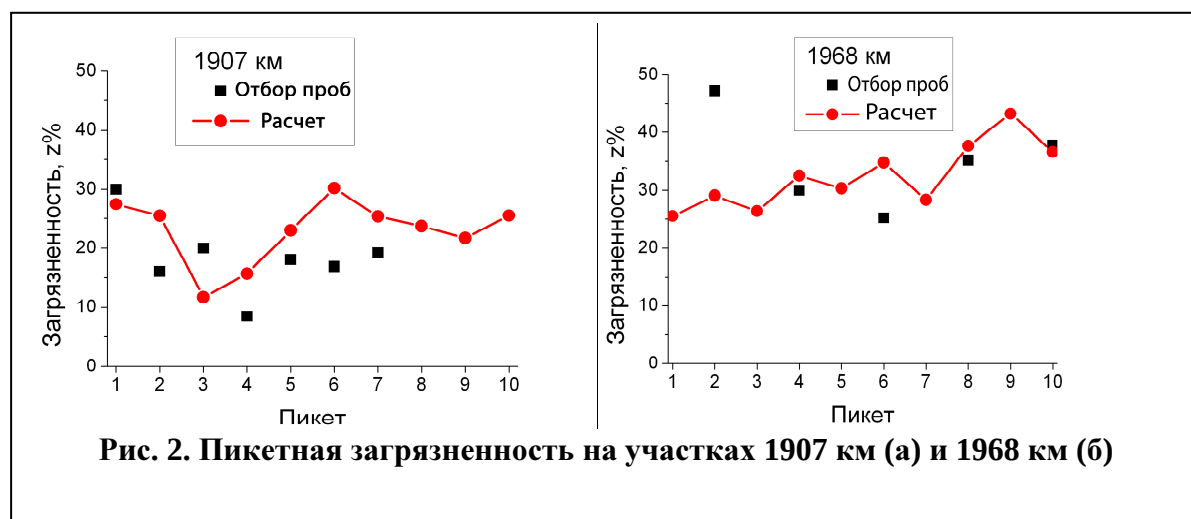


рис. 2 (а и б соответственно).

Георадиолокационные измерения выполнены вдоль плеча балластной призмы в декабре 2010 г. Из рисунка видно, что загрязненность балластного материала в пределах 1 км может изменяться в широких пределах, превышающих 100% величины.

Влияние погодных и сезонных условий на работу ПАК

Исследование влияния погодных и сезонных условий на результаты определения степени загрязненности балластного слоя выполнено при обработке георадиолокационных измерений, осуществленных в течение года (рис. 3). Результаты, приведенные в данном разделе, получены с использованием антенного блока АБ-1200 МГц.

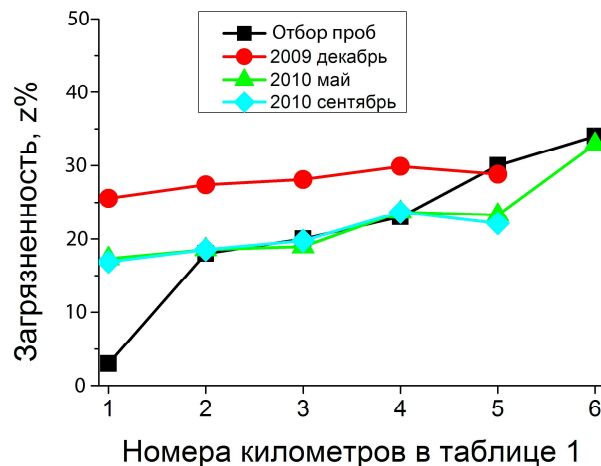


Рис. 3. Сравнение загрязненности z, определенной с использованием антенного блока АБ-1200

Видно, что зимой полученные значения загрязненности стабильно выше, чем в весенний и осенний периоды. Это может быть связано с повышенной влажностью балластного материала.

Определение толщины балластного слоя

Разработанный ПАК позволяет определять толщину балластного слоя по отражениям сигнала георадара границами раздела слоев грунта [5].

В соответствии с Инструкцией по текущему содержанию железнодорожного пути (ЦП-774) ПАК формирует три диапазона возможной толщины балластного слоя: менее 0,25 м; 0,20–0,50 м и более 0,50 м. В табл. 2 в качестве примера выполнено сравнение результатов обработки радарограмм на участках 1907 км, 1916 км и 1944 км с результатами инструментальных замеров, выполненных с помощью зондировочного лома.

Таблица 2 – Определение толщины балластного слоя

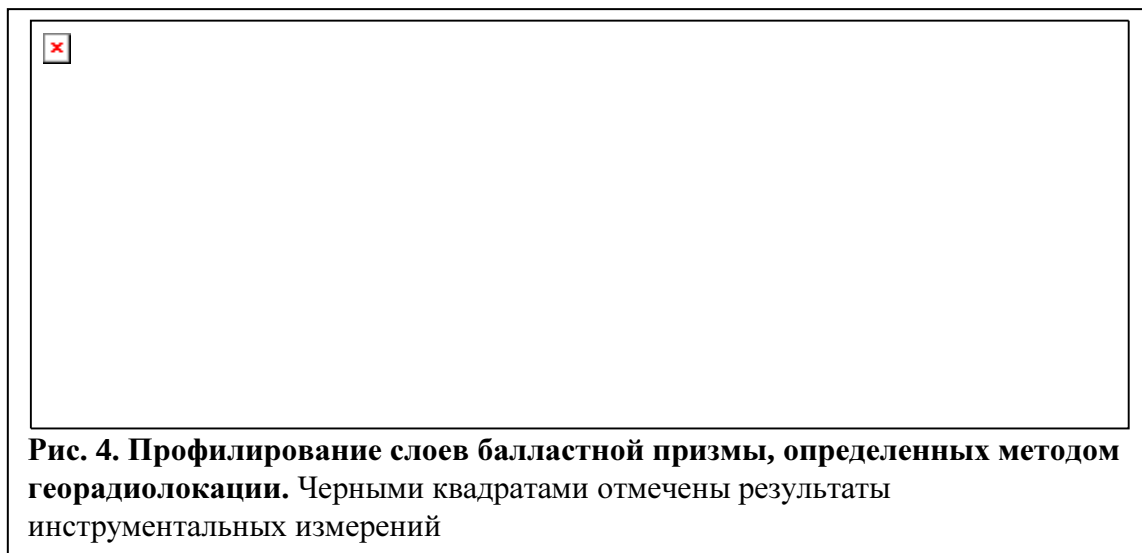
Километр, пикет		Толщина балластного слоя, м	
		Инструментальные измерения	ПАК
1907	ПК2	0,41	0,25–0,50
	ПК3	0,43	0,25–0,50
	ПК4	0,59	> 50
	ПК5	0,48	0,25–0,50
	ПК6	0,44	0,25–0,50
	ПК7	0,41	0,25–0,50
1916	ПК1	0,67	0,25–0,50
	ПК2	0,60	0,25–0,50
	ПК3	0,63	0,25–0,50
	ПК4	0,56	0,25–0,50
	ПК5	0,68	0,25–0,50
	ПК6	0,25	0,25–0,50
	ПК7	0,30	0,25–0,50
	ПК8	0,64	0,25–0,50
	ПК9	0,28	0,25–0,50
	ПК10	0,29	0,25–0,50
1944	ПК1	0,29	0,25–0,50
	ПК2	0,55	0,25–0,50
	ПК3	0,76	> 50
	ПК4	0,33	0,25–0,50
	ПК5	0,26	0,25–0,50
	ПК6	0,58	0,25–0,50
	ПК7	0,68	0,25–0,50
	ПК8	0,51	> 50
	ПК9	0,43	> 50
	ПК10	0,53	> 50

Видно, что из 26 приведенных в таблице случаев сравнения методов в 18 наблюдается совпадение результатов. Вместе с тем имеются точки, где инструментальный метод показал большую, чем ПАК, толщину слоев. Возможная причина расхождений может быть связана с многослойной структурой балласта, которая сформировалась из-за периодически выполняемых ремонтов.

Однородность балластного слоя

Разработанный ПАК позволяет определять структуру щебеночных слоев балластной призмы.

На рис. 4 представлены результаты обработки георадиолокационного профиля на 1916 км. Согласно табл. 2 на этом километре имеется существенное расхождение в толщине балластного слоя, определенной используемыми в работе методами.



Из рисунка видно, что в балластном слое имеется две границы раздела: 0,35 и 0,60 м. Там же показаны результаты инструментальных измерений. ПАК связал толщину балластного слоя с первой границей раздела на всех пикетах указанного километра пути, поскольку она оказалась контрастнее, чем вторая.

Метод георадиолокации, как неразрушающий, требует тарировки инструментальными методами. Однако, как следует из табл. 2 и рис. 4, эту процедуру необходимо проводить с учетом слоистой структуры балластного материала. Учет многослойности балласта при детальном сравнении результатов георадиолокации и инструментального обследования привел к тому, что для 42-х точек инструментальных замеров на перегоне Туапсе–Сочи расхождение более 0,1 м выявлено в 5% случаев, менее 0,1 м – в 25%, около 0,05 м – в 70% случаев. При работе ПАК индикатором многослойной структуры балластной призмы служит алгоритм подсчета слоев в интервале глубин 0–0,60 м.

Итак, определить толщину балластного слоя с учетом его слоистой структуры можно минимальным комплексом геофизических методов, включающем георадиолокацию, как метод получения непрерывной информации о балластном материале; инструментальные замеры (например, с использованием зондировочного лома), необходимые для тарировки глубин метода георадиолокации.

Получаемая таким образом информация необходима при проектировании ремонтов и модернизации пути.

Степень деформативности

Важной характеристикой состояния балластного материала, определяемой по радарограммам, является угол наклона балластных слоев к горизонтали. Чередование знаков углов позволяет отличить балластные углубления от возможных напластований балластного материала, а значения их модулей дают возможность оценить геометрические размеры (протяженность и глубину) балластных углублений.

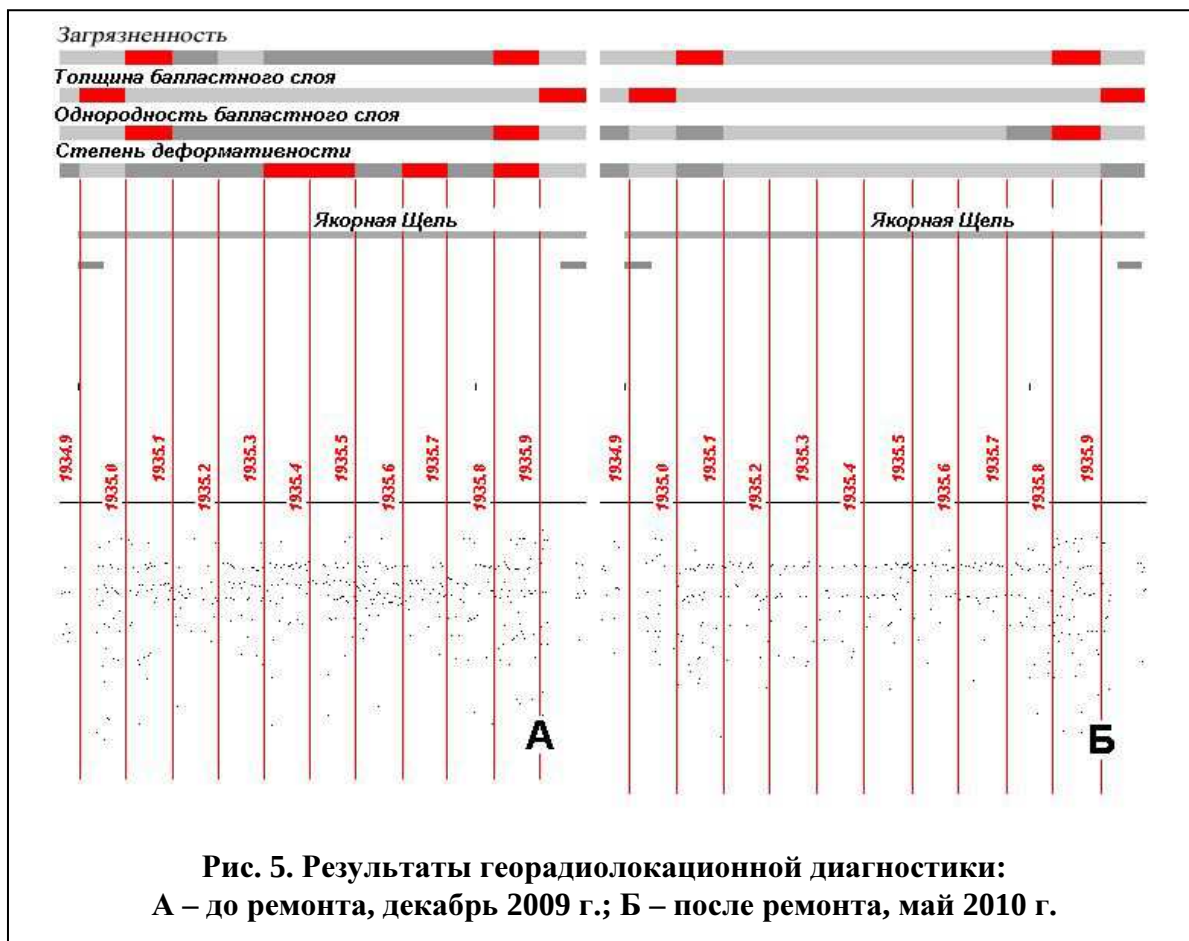
Анализ изменения угла наклона, выполняемый при многократных обследованиях, позволяет определить динамику развития балластных углублений и планировать мероприятия по стабилизации пути.

Выводы

Полученная средствами ПАК информация о загрязненности, мощности, однородности и деформативности балластного слоя может использоваться для оценки качества выполненных ремонтов балластного слоя.

На рис. 5 представлены фрагменты обработанных радарограмм (координаты проектные) и результаты интерпретации с использованием ПАК. При обследовании применены антенные блоки АБ-1200, оснащенные рупорными конструкциями. Блоки размещались по оси пути на высоте 0,15 м от головки рельса. На этом участке на семи пикетах в период времени между георадиолокационными обследованиями выполнен ремонт пути, включавший очистку балластной призмы.

Для визуализации работы ПАК диапазон изменения определяемого параметра разбивается на три поддиапазона. Для загрязненности границу выбирают согласно Методическим указаниям, для толщины балластного слоя – согласно Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути. Поддиапазоны для однородности



балластного слоя и степени деформативности определены как 0,33 диапазона изменения соответствующей характеристики на рассмотренном участке пути. Выделенным поддиапазонам поставлены в соответствие три цвета – светло-серый, темно-серый и красный.

Видно, что в результате ремонтных работ в норму приведены загрязненность балласта, его однородность и степень деформативности границ раздела его слоев при сохранении нормативного значения толщины.

Отклонения от нормативных значений параметров отмечаются только на стрелках, расположенных на 1935 км ПК 1 и 1935 км ПК 9 (проектная система координат). Причина отклонений связана с помехами от конструкции стрелочных переводов, которые затрудняют количественную обработку георадиолокационной информации. Позиционирование создающих интенсивные помехи объектов на радарограммах и удаление соответствующей информации из отчетных документов может осуществляться с

помощью подробных электронных карт пути, содержащих оси искусственных сооружений.

Результаты, приведенные на рис. 5, позволяют сделать вывод об эффективности данной технологии и алгоритмов обработки радарограмм ПАК для контроля качества замены или отчистки балластного материала.

Список литературы

1. Методика диагностики состояния высоких насыпей с прогнозом возможности деформаций / ОАО «РЖД», МИИТ. – М. : НИИТКД, 2007.
2. Особенности обработки георадиолокационных данных, получаемых в непрерывном скоростном режиме / Колесников В.И. [и др.] : тр. междунар. науч.-тех. конф. «Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований». – М. : МИИТ, 2004.
3. Георадиолокационная диагностика пути / В.И. Колесников [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 3.
4. Геофизические методы исследования: учеб. пособие для вузов / В.К. Хмелевской, [и др.] / под ред. В.К. Хмелевского. – М. : Недра, 1988.
5. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных : учеб. пособие. – М. : Изд-во МГУ, 2008.
6. Оценка засоренности балласта железнодорожного пути методом георадиолокации / В.Б. Воробьев, В.И. Колесников, В.А. Явна // Инженерная и рудная геофизика : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Геленджик : EAGE, 2008.
7. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути / ЦПТ-53 / ОАО «РЖД», Департамент пути и сооружений, ВНИИЖТ. – М. : Академкнига, 2004.

Рецензенты:

Бугаев Л.А., д.ф.-м.н., зав. кафедрой теоретической и вычислительной физики физического факультета Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

Фоменко Н.Е., д.г.-м.н., профессор Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.

Работа получена 21.09.2011