

УДК 625.143.482

Кандидаты техн. наук А. В. САВИН, А. М. БРЖЕЗОВСКИЙ, В. В. ТРЕТЬЯКОВ, И. В. СМЕЛЯНСКИЙ,
инж. С. В. ТОЛМАЧЕВ

Исследования безбалластной конструкции верхнего строения пути

Аннотация. В 2009 г. по проекту компании RailOne (Германия) при участии АО «Росжелдорпроект» на Московской железной дороге (Экспериментальное кольцо ОАО «ВНИИЖТ», ст. Щербинка (ЭК)) и на Октябрьской железной дороге (перегон Тосно — Саблино линии Санкт-Петербург — Москва) были сооружены и введены в опытную эксплуатацию два участка с безбалластной конструкцией пути типа RHEDA 2000. Перед вводом в опытную эксплуатацию и в процессе самой эксплуатации специалистами ОАО «ВНИИЖТ» проводились испытания опытных участков под реальной поездной нагрузкой и регулярные наблюдения за поведением различных элементов безбалластной конструкции пути по мере увеличения пропущенного тоннажа. В статье приведены некоторые наиболее значимые результаты испытаний и эксплуатационных наблюдений, а также представлены выводы по результатам испытаний.

Ключевые слова: безбалластный путь; испытания; тоннаж; скорость; грузонапряженность; просадка; переходные участки; жесткость; напряжения; перемещения

Многолетний опыт проектирования, испытаний и эксплуатации различных типов безбалластной конструкции верхнего строения железнодорожного пути, накопленный на зарубежных железных дорогах, показал несомненные преимущества таких конструкций по сравнению с классическими конструкциями пути на балласте [1]. В наибольшей мере такие преимущества относятся к железнодорожным магистралям, предназначенным для регулярного скоростного и высокоскоростного пассажирского движения. В соответствии с принятым решением о создании железнодорожной инфраструктуры ВСМ особый интерес представляют практические результаты испытаний и эксплуатационных наблюдений безбалластной конструкции пути в реальных условиях отечественных железных дорог.

В 2009 г. по проекту компании RailOne (Германия) при участии АО «Росжелдорпроект» на Московской железной дороге (Экспериментальное кольцо ОАО «ВНИИЖТ», ст. Щербинка (ЭК)) [2] и на Октябрьской железной дороге (перегон Тосно — Саблино линии Санкт-Петербург — Москва) [3] были сооружены и введены в опытную эксплуатацию два участка с безбалластной конструкцией пути типа RHEDA 2000. Перед вводом в опытную эксплуатацию и в процессе самой эксплуатации специалистами ОАО «ВНИИЖТ» проводились испытания опытных участков под реальной поездной нагрузкой и регулярные наблюдения за поведением различных элементов безбалластной конструкции пути по мере увеличения пропущенного

тоннажа. Ниже приведены некоторые наиболее значимые результаты испытаний и эксплуатационных наблюдений.

Задача данных испытаний состояла в определении работоспособности безбалластной конструкции в условиях Российских железных дорог. Для этого проводились измерения следующих параметров:

- вертикальных сил, действующих от колес на рельсы;
- динамических напряжений в кромках подошвы рельса при различных типах подвижного состава (электровоз, пассажирский вагон, грузовой вагон);
- вертикальных ускорений на безбалластном основании;
- вертикальной осадки уровня головки рельса и бетонной плиты от пропущенного тоннажа;
- целостности бетонной плиты и элементов узлов рельсовых скреплений.

Краткая характеристика опытных участков пути. С целью сравнительной оценки процессов взаимодействия подвижного состава с элементами верхнего строения пути и проведения эксплуатационных наблюдений за текущим техническим состоянием на 2-м кольцевом пути ЭК в 2009 г. был уложен опытный участок с безбалластной конструкцией пути типа RHEDA 2000. Движение поездов по опытному участку было открыто 21 сентября 2010 г. Практически одновременно участок пути с аналогичной конструкцией был уложен на 46-м километре линии Санкт-Петербург — Москва Октябрьской железной дороги (перегон Тосно — Саблино).

Опытный участок на ЭК представлял собой собственно безбалластный путь длиной 35 м и два переходных участка переменной жесткости [4] длиной по 20 м, примыкающих с двух сторон к безбалластному участку (рис. 1 и 2). Участки располагались в прямой на одном из путей двухпутного земляного полотна. Переходные участки пути включали в себя склеенный полимерным составом балласт и дополнительную пару рельсов в середине колеи, рельсы типа Р65.

Опытная эксплуатация участка производилась в течение 4 лет, в сентябре 2014 г. участок был демонтирован. В этот период на участке осуществлялось регулярное движение грузовых поездов со скоростью до 70 км/ч. Грузонапряженность участка — 300 млн т брутто в год при средней статической осевой нагрузке



Рис. 1. Опытный участок пути на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ»

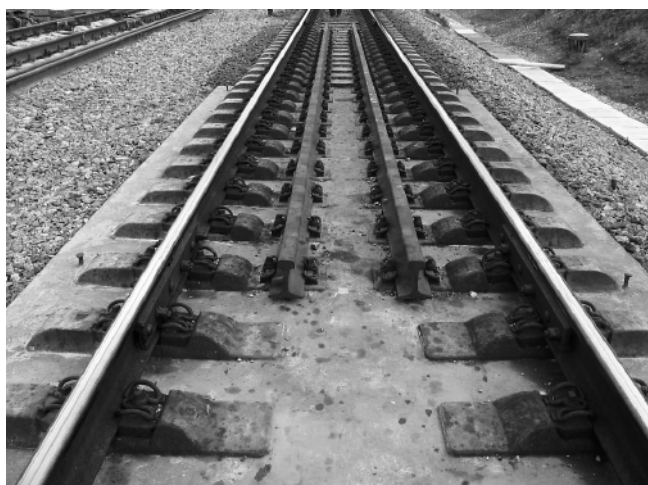


Рис. 2. Переходный участок переменной жесткости на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ»

23,5 тс. Суммарный пропущенный тоннаж составил 957 млн т брутто.

Участок безбалластного пути типа RHEDA 2000 на перегоне Тосно — Саблино расположен в прямой на



Рис. 3. Опытный участок пути на Октябрьской железной дороге

отдельной насыпи и имеет длину 1000 м с двумя переходными участками длиной по 75 м (рис. 3).

На участке имеется безбалластная конструкция типа RHEDA 2000 с защитным слоем из щебеночно-гравийно-песчаной смеси, армированным плоской георешеткой Tensar TX170 G с использованием скреплений типа VOSSLOH W-301-НН, и переходная конструкция с переменной жесткостью, в которой применены вспомогательные рельсы, уложенные в колею, и балластная призма, обработанная вяжущим полимерным материалом.

На протяжении всего опытного участка пути уложен бесстыковой путь с объемнозакаленными рельсами типа Р65.

В настоящее время участок Октябрьской железной дороги находится в опытной эксплуатации. К началу проведения комплексных испытаний по опытному участку пути было пропущено 3,5 млн т брутто. В соответствии с приказом начальника Октябрьской железной дороги на участке Тосно — Саблино по главному пути линии Санкт-Петербург — Москва на момент проведения испытаний скорость пассажирского движения составляет до 200 км/ч, грузового движения — 80 км/ч. По участку, главным образом, обращаются пассажирские и пригородные поезда. По паспортным данным профиль участка (по ходу поезда) имеет подъем 5,0...3,5‰ протяженностью 300 м, площадку 0,6‰ протяженностью 200 м и спуск 4,2‰ протяженностью 500 м.

Испытания опытной конструкции пути на ЭК ОАО «ВНИИЖТ». Ходовые испытания по оценке воздействия различных типов подвижного состава на элементы конструкции безбалластного пути проводились в сентябре 2010 г. Для сравнительной оценки весь опытный участок разделен на три части по 25 м каждая: типовой путь на балласте, переходный участок, безбалластный путь.

В процессе испытаний регистрировались динамические напряжения в кромках подошвы рельса, вертикальные силы, передающиеся от колес на рельсы, а также вертикальные ускорения на верхней поверхности шпал. Тензометрические схемы для измерения напряжений и вертикальных сил монтировались вблизи рельсовых стыков; акселерометры устанавливались на ближайшей к стыку шпале (рис. 4).

Результаты статистической обработки реализаций динамических напряжений в кромках подошвы рельса и вертикальных сил по наибольшим значениям показателей при движении со скоростью 80 км/ч представлены в виде диаграмм на рис. 5.

Установлено, что наибольшие динамические напряжения в кромках подошвы рельса под воздействием подвижного состава опытного поезда составляли 91...95 МПа, т. е. оказались существенно меньше допускаемой величины 240 МПа [5]. При этом

под воздействием колес электровоза и пассажирского вагона напряжения в рельсах на безбалластной конструкции пути выше на 10...40%, чем при типовой конструкции пути.

Под воздействием колес груженого полувагона отмеченные различия напряжений в рельсах на безбалластной и типовой конструкциях менее выражены. В частности, напряжения в рельсах на пути с безбалластной конструкцией, зарегистрированные под первой по направлению движения тележкой, несколько меньше, чем на пути с типовой конструкцией (колесная пара № 7 на рис. 5). Наибольшие величины напряжений характерны для подвижного состава с большей статической осевой нагрузкой — для груженого полувагона.

Кромочные напряжения от воздействия колес электровоза и пассажирского вагона оказались существенно ниже, соответственно в 1,32 и 1,94 раза.

На переходных участках и на участках с типовой конструкцией верхнего строения пути средние величины напряжений в кромке подошвы рельса близки между собой и при этом на 12–20% меньше по сравнению с безбалластной конструкцией.

Полученные экспериментальные данные указывали на более высокий уровень динамических напряжений в кромках подошвы рельса и вертикальных сил в рельсах на пути с безбалластной конструкцией верхнего строения по сравнению с типовой конструкцией верхнего строения для подвижного состава со статической осевой нагрузкой 21 и 24 т на ось. Возможной причиной этого являлась более высокая жесткость подрельсового основания пути с безбалластной конструкцией верхнего строения.

На рис. 6 показана типичная реализация вертикальных ускорений на поверхности шпалы в зоне рельсового стыка с отчетливым проявлением ударного характера взаимодействия колеса и рельса. Наибольшие амплитуды импульсов соответствовали колесам опытного поезда (6-осный электровоз, 4-осный полувагон и 4-осный пассажирский вагон).

С целью экспериментальной оценки влияния конструкции верхнего строения пути на уровень динамического взаимодействия экипажа и пути на буксах пассажирского вагона монтировались акселерометры для регистрации вертикальных ускорений неподрессоренных частей вагона.

Статистическая обработка реализаций ускорений производилась в частном диапазоне 0...50 Гц при проследовании колес как в зонах сварных рельсовых стыков, так и по бесстыковой части рельсов. При скорости движения 80 км/ч наибольшие амплитуды вертикальных ускорений буксового узла при следовании колеса по межстыковым участкам рельса с типовой конструкцией верхнего строения составляли 4,0...5,5 м/с² при среднем значении 4,4 м/с², а с безбалластной и переходной конструкцией пути — были близки между

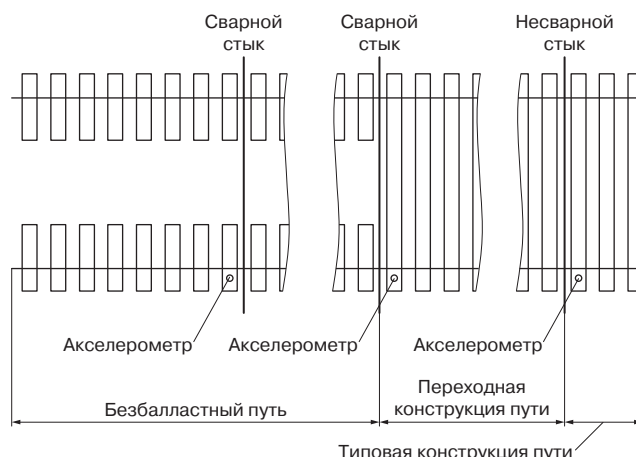


Рис. 4. Схема расположения акселерометров на опытном участке пути

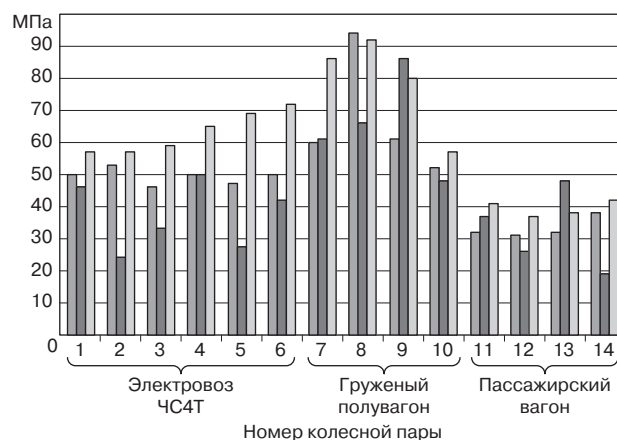


Рис. 5. Показатели воздействия на путь (наибольшие величины) при скорости движения 80 км/ч (опытный участок ЭК)

собой и составляли 3,0...4,0 м/с² при среднем значении 3,4 м/с².

Такие значения, очевидно, получились из-за того, что на типовой конструкции пути вертикальные перемещения головки рельса под поездной нагрузкой выше, чем на безбалластной.

Значительно более высокие ускорения возникали при проследовании колесами сварных рельсовых

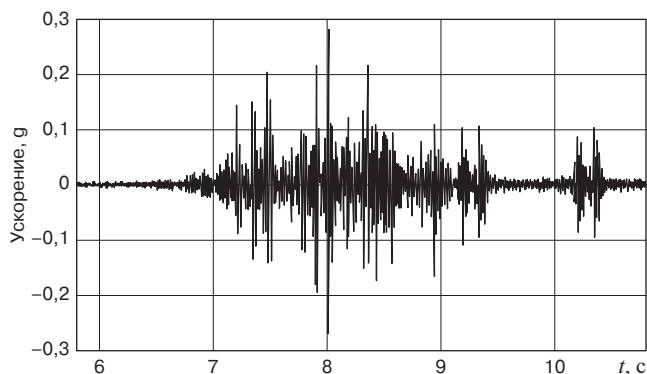


Рис. 6. Осциллограмма вертикальных ускорений на шпале безбалластного пути

стыков: в стыках рельсов между типовой и переходной конструкциями верхнего строения наибольшие ускорения достигали $46,4...63,6 \text{ м/с}^2$ при среднем значении $42,6 \text{ м/с}^2$; ускорения буксового узла в зоне сварных рельсовых стыков на безбалластной конструкции верхнего строения были существенно ниже — наибольшие амплитуды $26,4...30,8 \text{ м/с}^2$ при среднем значении $24,8 \text{ м/с}^2$.

Нивелировка уровня головки рельса и плиты. На опытном участке проведена нивелировка по уровню головки рельса (УГР) правой и левой рельсовых нитей с шагом $5,4 \text{ м}$ (10 шпал), а также нивелировка бетонной несущей плиты по левой и правой стороне. Полученные данные представлены в виде графиков на рис. 7 и 8. На рис. 7 графики уровней головок левого и правого рельсов совмещены со схемой расположения бетонной плиты и переходных участков; на рис. 8 представлены осадки по левой и правой сторонам, совмещенные со схемой несущей плиты с концевыми бетонными «зубьями».

Нивелировка, произведенная в сентябре 2010 г. в период проведения комплексных испытаний, показала, что по левой рельсовой нити на безбалластной

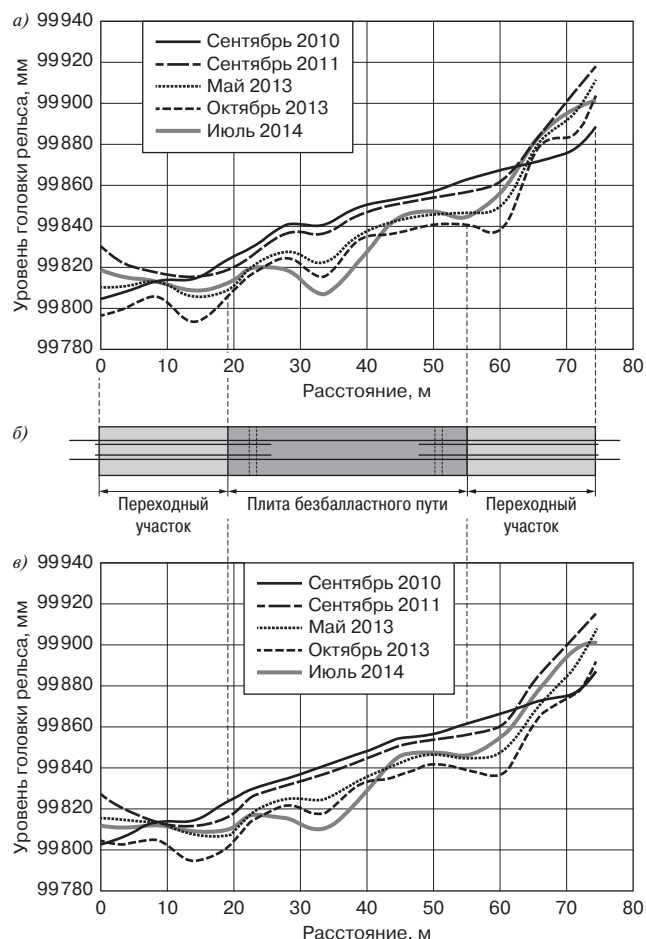


Рис. 7. Нивелировка уровня головки рельса: а — левый рельс; б — схема участка; в — правый рельс

конструкции имелась «яма» длиной около 11 м и глубиной до 5 мм . В период 2010–2011 гг. осадка бетонной плиты была достаточно равномерна и составляла 5 мм . В этот период эксплуатации осадки переходных участков были неравномерны и достигали 30 мм . Этим была вызвана необходимость выправки переходных участков подбивкой щебня. При этом склеенный слой щебня оказался разрушенным. В дальнейшем на переходных участках с балластным слоем осадки составили большие значения, что и было обусловлено, главным образом, разрушением склеенного слоя.

Начиная с мая 2013 г., по причине просачивания воды под бетонную плиту и разрушения тощего бетона в зимне-весенний период, осадки бетонной плиты стали более существенными (до 20 мм) и неравномерными. Ко времени окончания опытной эксплуатации участка в конце июля 2014 г. максимальная осадка плиты составила 33 мм в месте наибольшего вымывания тощего бетона из-под бетонной плиты.

Наряду с нивелировкой уровня головок рельсов проводились периодические измерения осадок поверхности бетонной плиты. Анализ осадок монолитной плиты показал, что начиная с октября 2013 г.

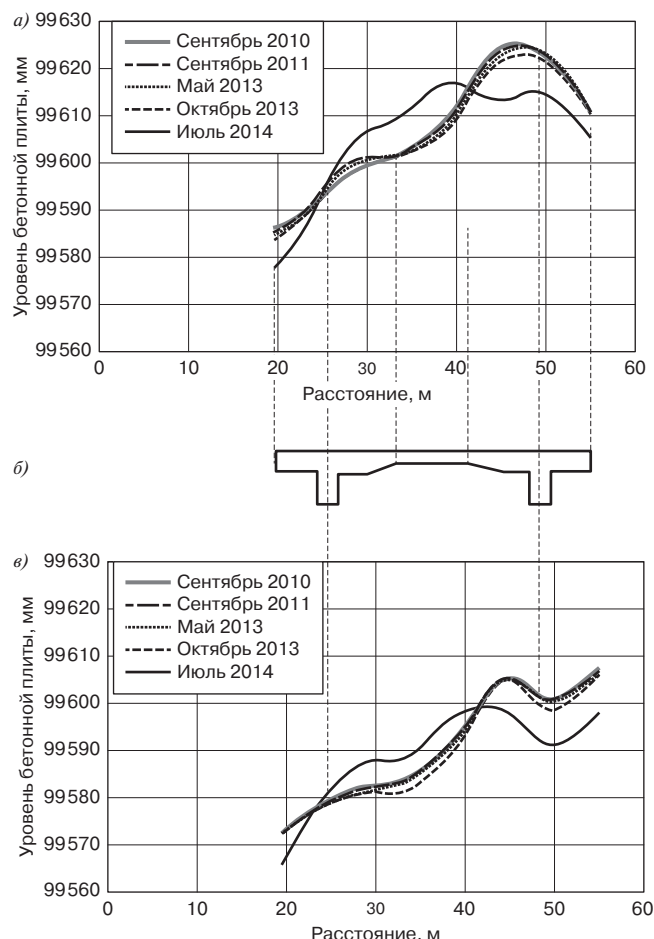


Рис. 8. Нивелировка уровня бетонной плиты: а — левая сторона; б — схема плиты; в — правая сторона

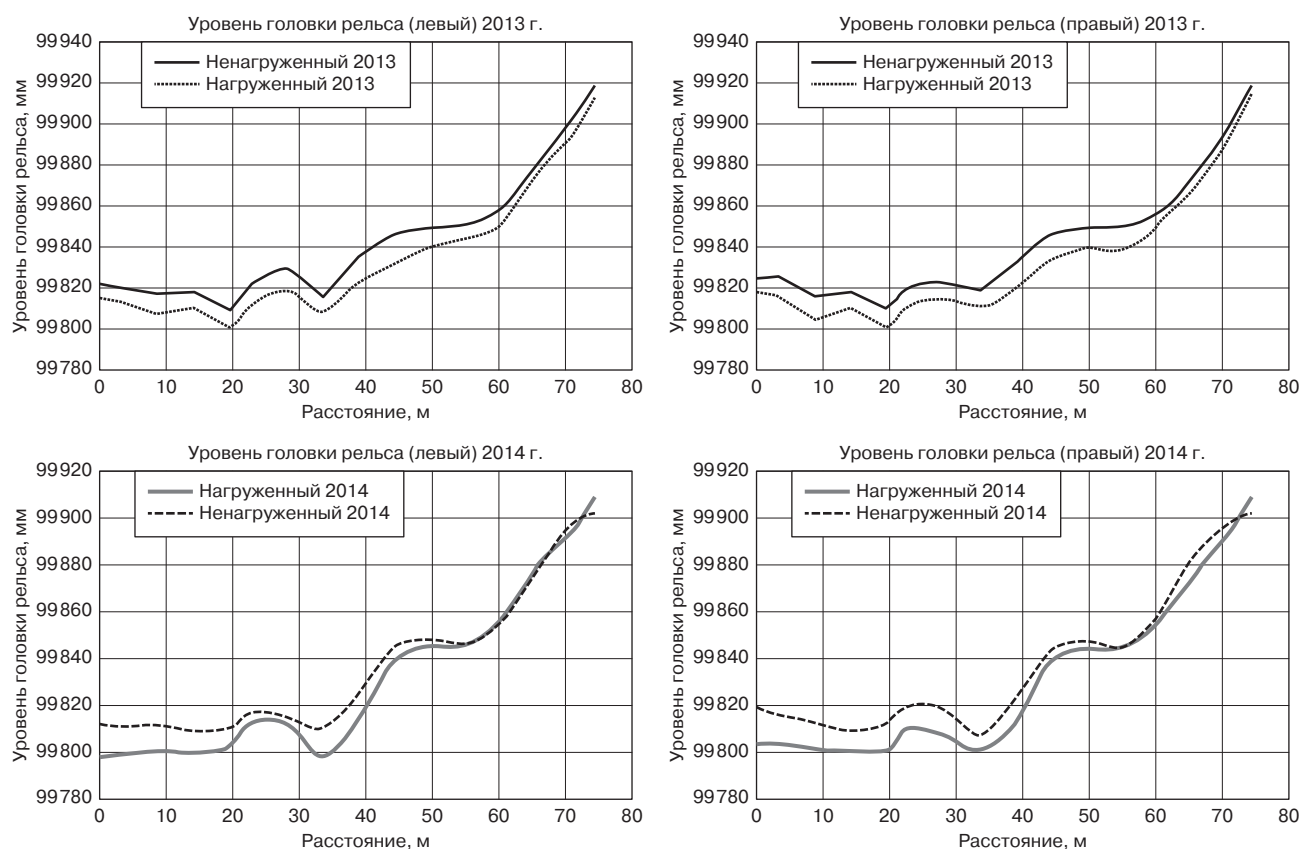


Рис. 9. Нивелировка уровня головки нагруженного и ненагруженного рельса

плита стала работать как балка на двух опорах. Посередине плиты образовалось свободное пространство из-за вымывания тощего бетона, и края плиты поднялись. Из графиков на рис. 7 видно, что в период с сентября 2010 г. по октябрь 2013 г. положение плиты было достаточно стабильным. Измерения, проведенные в июле 2014 г., показали, что края плиты опустились на величину до 9 мм, а середина плиты поднялась на величину до 10 мм.

На рис. 9 представлены результаты нивелировки уровня головки рельса без нагрузки и под статической нагрузкой от колесной пары на рельсы 23,5 тс. Из рис. 9 видно, что в 2013 г. максимальная упругая осадка под нагрузкой составила 14 мм, а в 2014 г. — 12 мм. В 2013 г. упругие осадки были более равномерными по длине плиты, чем в 2014 г. Это связано с тем, что первый переходный участок и тощий бетон под плитой в первой половине участка были в большей мере разрушены по сравнению со второй его частью.

Ширина колеи. Ширина колеи в пределах опытного участка, измеренная в сентябре 2010 г., соответствовала нормативу и составляла 1519...1524 мм: среднее значение ширины колеи на безбалластной конструкции 1520,1 мм при величине среднего квадратического отклонения (СКО) 0,44 мм; на переходных участках среднее значение ширины колеи 1521,0 мм (на первом переходном участке) и 1522,3 мм (на

втором переходном участке) при величинах СКО 0,82 и 1,26 мм соответственно.

Анализ данных по ширине колеи, измеренной в июле 2014 г., показал, что ширина колеи на опытных участках оставалась стабильной и составляла в среднем 1522...1524 мм при значениях СКО 1,1...1,26 мм.

Уровень. Измерения проводили в сентябре 2010 г. и в сентябре 2014 г., отступления рельсовых нитей по уровню не превышали +6 мм, т. е. находились в пределах допустимых отклонений. Однако следует отметить, что в указанный период на опытном участке производилась выправка пути на регулировочные прокладки в узлах рельсовых скреплений.

Подуклонка рельсов. В сентябре 2010 г. подуклонка рельсов на обследованных участках составляла 1/15...1/32 при среднем значении по левой рельсовой нити 1/18, а по правой — 1/23. Зафиксированы скачкообразные изменения подуклонки на концах плиты безбалластной конструкции, что можно объяснить наличием сварного стыка. Замеры, проведенные в сентябре 2014 г., показали, что подуклонка рельсов изменилась незначительно и составляла 1/15...1/23 при среднем значении по левой рельсовой нити 1/18, а по правой — 1/21.

Дефекты, выявленные визуально. В мае 2013 г. при входе на безбалластную конструкцию по направлению движения поездов были обнаружены полушпалки, потерявшие связь с основной плитой конструкции



Рис. 10. Отрыв полушпалков от бетонной плиты



Рис. 11. Выплески цементной смеси из-под плиты



Рис. 12. Зазор между бетонной плитой и ГСНС

(рис. 10). В период с мая по октябрь 2013 г. произошел полный отрыв от монолитной плиты с зазорами по краю полушпалков от 2 до 3 мм. При движении поездов по опытному участку визуально наблюдались вертикальные перемещения полушпалков отдельно от монолитной плиты.

Кроме того, в июне 2013 г. были обнаружены цементно-песчаные выплески на поверхность щебеночной призмы (рис. 11 и 12). С целью выявления причин

выплесков в августе 2013 г. производилось специальное обследование, которое показало, что между плитой и гидравлически связанным несущим слоем (ГСНС) появился зазор величиной до 20 мм. В этих местах было обнаружено также разрушение тощего бетона. Из-за скопления воды вследствие недостаточного водоотвода (отсутствие поперечного дренажа) под воздействием знакопеременных вертикальных динамических нагрузок от колес подвижного состава произошел отрыв (отслоение) монолитной плиты и тощего бетона.

Результаты визуального обследования состояния опытной конструкции пути в течение всего периода наблюдений с перечнем неисправностей элементов креплений и бетонной плиты представлены в табл. 1.

Анализ причин разрушения конструкции опытного участка пути в эксплуатации позволил выявить ряд факторов, перечисленных ниже.

1. Основной причиной интенсивного разрушения гидравлически связанного несущего слоя является отсутствие поперечного дренажа, не предусмотренного проектом, что инициировало образование застоя воды. Так как безбалластный путь расположен на части земляного полотна двухпутного участка, то при сооружении основания безбалластного пути часть грунта вынималась и заменялась другим, что способствовало просачиванию воды между бетонной несущей плитой и гидравлически связанным слоем. Механизм просачивания воды схематично представлен на рис. 13.

2. Вымывание материала гидравлически связанного несущего слоя требует наличия начальной пустоты, в которую могла бы просочиться собравшаяся вода. Причиной образования начальной пустоты, вероятно, явился эффект рычага на входе на безбалластный участок пути по направлению движения поездов, что приводило к подъему вверх безбалластного пути за бетонным «зубом». Это было обусловлено наличием пустот под примыкающими шпалами переходного участка вследствие разрушенного склеенного балласта, так что нагрузка от колесной пары поднимала участок за концевым зубом с опорой по центру вращения (жесткий концевой «зуб»). При поднятии вверх этого участка и наличии собравшейся воды на нем эта вода засасывалась в пустоту и затем выдавливалась под воздействием поездной нагрузки (рис. 14).

3. К причинам образования эффекта рычага следует отнести также ограниченную длину опытного участка и близкое расположение концевых бетонных «зубьев», что способствовало работе безбалластной конструкции как балки на двух опорах.

4. Проседание концевых участков бетонной плиты происходило также из-за «несанкционированного» разрушения склеенного балластного слоя на переходном участке при проведении работ по выправке просадок на подходах к безбалластному пути.

5. Существенным фактором являлось дополнительное динамическое воздействие на бетонное основание пути от неровностей на поверхности катания рельсов и наличия стыков на участках переменной жесткости.

Выявленные отклонения в техническом состоянии опытного участка безбалластного пути (просадка бетонной плиты, выплески, отслоение шпал от бетона) можно было бы предотвратить своевременным проведением профилактических мероприятий. Например, для устранения незначительных несоответствий нужно было провести шлифовку рельсов, алюминотермитную сварку стыков, повторное склеивание балласта на переходных участках, своевременную замену клемм и выправку типовыми регулировочными прокладками в узлах рельсовых креплений.

Испытания опытной конструкции пути на перегоне Тосно — Саблино. В качестве опытного поезда применялся состав электропоезда ЭВС «Сапсан» № 01 без пассажиров с вагонами, имевшими среднюю статическую осевую нагрузку 15,0 тс. Вагоны электропоезда находились в нормальном эксплуатационном состоянии.

По данным о фактическом состоянии рельсовых нитей по геометрии на опытном участке пути, отступления рельсовых нитей 2-й и более высоких степеней отсутствовали. Движение электропоезда по измерительным участкам пути осуществлялось «челноком» в специально выделенные окна со скоростями до 210 км/ч.

Сравнительная оценка динамического взаимодействия колес электропоезда с рельсами производилась на основе статистического анализа реализаций динамических процессов, исследованных по аналогии с опытным участком ЭК, в том числе: напряжений в кромках подошвы рельсов, вертикальных сил, передающихся от колес на рельсы, вертикальных ускорений неподдрессоренных масс вагона (буксовый узел).

Сравнение безбалластной и типовой конструкций пути по величинам наибольших динамических напряжений в кромках подошвы рельса (см. табл. 2 и рис. 15) не показало значимых различий. При этом сравнительно более высокий уровень (в 1,25 – 1,34 раза) динамических напряжений был зарегистрирован в рельсах на участке с переходной жесткостью, что обусловлено повышенным воздействием колес электропоезда на путь в вертикальном направлении. В целом наибольшие величины напряжений не превышали 30% нормативного значения. Устойчивые зависимости наибольших динамических напряжений в кромках подошвы рельса от скорости движения на всех исследованных типах конструкции верхнего строения пути отсутствовали.

Сравнение наибольших величин напряжений в рельсах с напряжениями, зарегистрированными на типовой конструкции верхнего строения по испытаниям ЭВС «Сапсан» в 2009 г., показало достаточно близкую сходимость: при скорости движения 200 – 225 км/ч

Таблица 1

Данные визуального обследования элементов креплений и бетонной плиты

Номера шпал или полушпалков от начала переходного участка пути по направлению движения поезда	Неисправность
6, 17, 22	Излом наружной клеммы крепления
26	Излом двух клемм на контррельсе
27	Излом четырех клемм на контррельсе
28	Излом внутренней клеммы крепления
28	Излом трех клемм на контррельсе
29	Излом одной клеммы на контррельсе
37	Выврваны восемь полушпалков от начала плиты по обеим рельсовым нитям с выкрашиванием бетона
79	Излом наружной клеммы крепления
94 – 96	Выврваны полушпалки по обеим нитям
97 и 98	Выврваны полушпалки по правой нити
103	Излом трех клемм на контррельсе
104	Излом двух клемм на контррельсе
106	Излом одной клеммы на контррельсе
108	Излом наружной клеммы крепления
117	Излом наружной клеммы крепления

динамические напряжения в рельсах на прямой на 231-м километре линии Санкт-Петербург — Москва не превышали 46 МПа.

В рассматриваемом диапазоне скоростей движения наибольший уровень вертикальных сил от колес

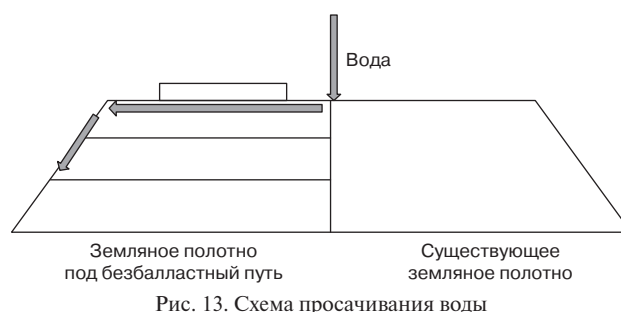


Рис. 13. Схема просачивания воды

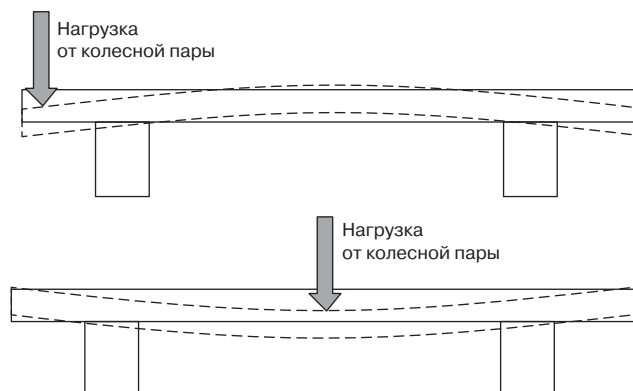


Рис. 14. Эффект рычага при работе бетонной несущей плиты при воздействии колесной пары в разных ее точках

Таблица 2

Динамические напряжения в кромках подошвы рельсов, МПа

Конструкция верхнего строения пути	Скорость, км/ч				Нормативное значение
	160	180	200	210	
Типовая	48	44	47	46	240
С переходной жесткостью	61	60	68	63	
Безбалластная	46	48	50	47	

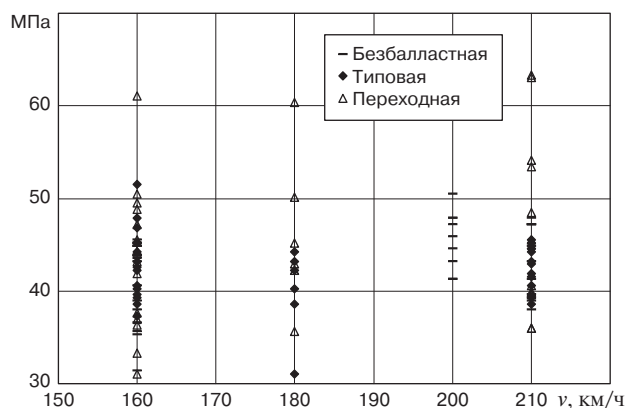


Рис. 15. Динамические напряжения в кромках подошвы рельса

электропоезда (табл. 3 и рис. 16) зарегистрирован при движении по пути с переходной жесткостью: на 13–17 кН и 2–7 кН выше по сравнению соответственно с типовой и безбалластной конструкцией верхнего строения.

Вероятной причиной такого соотношения вертикальных сил является «скачкообразное» изменение жесткости подрельсового основания на незначительном по протяженности участке с переходной

Таблица 3

Вертикальные силы, кН

Конструкция верхнего строения пути	Скорость, км/ч			
	160	180	200	210
Типовая	82,3	80,5	84,1	85,0
С переходной жесткостью	95,7	96,6	97,0	102,5
Безбалластная	93,2	90,6	93,8	95,6

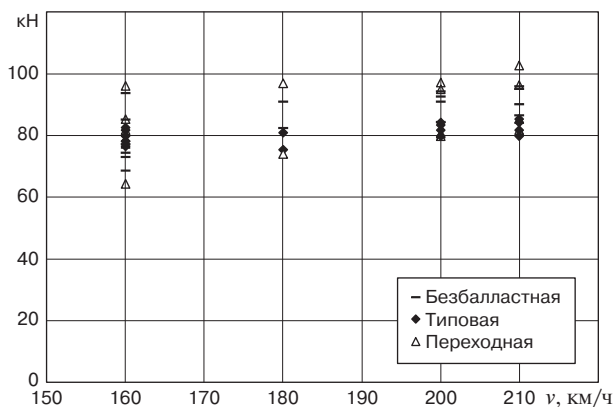


Рис. 16. Вертикальные силы

жесткостью, в связи с чем возникают неустановившиеся переходные процессы вертикальных колебаний неподдресоренных масс вагонов электропоезда.

На основе зарегистрированных реализаций вертикальных ускорений буксового узла головной тележки ЭВС «Сапсан» (табл. 4) получены зависимости вертикальных ускорений от скорости движения по рельсу, расположенному между сварными стыками, и по сварным рельсовым стыкам.

Из табл. 4 следует, что в зависимости от скорости движения максимальные вероятные значения ускорений буксового узла при движении электропоезда по участку с типовой конструкцией пути меньше, чем при движении по безбалластной конструкции пути в диапазоне скоростей движения 110–120 км/ч на 15%, а в диапазоне скоростей 190–210 км/ч — на 18% (соответственно 8,3 и 9,5 м/с² и 9,7...12,7 м/с²). В диапазоне скоростей движения 190–210 км/ч наибольший уровень ускорений зарегистрирован при движении по переходному пути: на 31% выше, чем по типовой конструкции пути, и на 12%, чем на безбалластной конструкции пути.

Напротив, при движении колеса по сварным рельсовым стыкам уровень ускорений на участке пути с типовой конструкцией верхнего строения пути оказался при скоростях 190–210 км/ч на 33% выше, чем на участке с безбалластной конструкцией пути, что, главным образом, может быть обусловлено различием геометрических параметров и жесткости рельсов в зоне сварных стыков. В последнем случае наибольшая зарегистрированная величина ускорений составила 53 м/с².

Нивелировка уровня головки рельса. Измерения геометрических параметров рельсовых нитей с нивелировкой уровня головки рельса (УГР) на опытном участке в соответствии со схемой расположения отметок пути (рис. 17) производились в декабре 2010 г. Полученные данные представлены в виде графиков отметки высот УГР на рис. 18.

Участок с безбалластной конструкцией условно можно разделить на четыре участка с различным профилем: первый участок протяженностью 180 м с уклоном 7‰, второй участок длиной 340 м с уклоном 4‰, третий участок протяженностью 240 м без уклона и четвертый участок с уклоном –6‰. Данные нивелировки показали высокую стабильность бетонной плиты и переходных участков. Разность уровней левого и правого рельса не превышала 2 мм.

Ширина рельсовой колеи оказалась равной 1520...1522 мм; значения по уровню не превышали +4 мм (по проектной документации +0), что соответствовало интервалам параметров отступлений I степени. Среднее значение ширины колеи на безбалластной конструкции составило 1520,3 мм при величине СКО –0,5 мм. Подуклонка рельсов находилась в пределах 1/18...1/21, что соответствовало допустимым

величинам подуклонки по Инструкции ЦП-774 (1/12...1/60).

На рис. 19 приведены зависимости просадок рельсовых нитей от пропущенного тоннажа по данным проходов дорожных вагонов-путеизмерителей. Анализ показал, что изменение среднего значения просадок происходит в пределах 1 мм.

Выводы. 1. Конструкция безбалластного пути на Экспериментальном кольце была демонтирована по причине образования выплеска из-под бетонной плиты и, как следствие, просадки в середине плиты. Кроме того, первые шесть полушпал потеряли связь с основной бетонной плитой и стали интенсивно разрушаться.

2. Результат ресурсных испытаний безбалластного пути RHEDA 2000 на Экспериментальном кольце нельзя считать отрицательным. Причиной неудовлетворительного итогового состояния конструкции стали ошибки при проектировании и несоответствующее текущее содержание.

Пропущенный тоннаж 957 млн т брутто соответствует сроку эксплуатации в реальных условиях около 50 лет при грузонапряженности 18 млн т брутто в год.

3. Динамико-прочностные испытания показали, что данная конструкция может применяться не только для скоростного и высокоскоростного движения, как предполагалось ранее, но и для совмещенного движения.

Необходимо провести технико-экономическое обоснование сфер применения безбалластного пути. Предположительно он будет эффективнее именно при совмещенном движении.

4. На безбалластном пути не должно допускаться наличие болтовых стыков. Необходимо пересмотреть требования по временному восстановлению дефектных плетей бесстыкового пути. Такие плети должны восстанавливаться сразу, например, алюминотермитной сваркой.

5. Безбалластный путь нецелесообразно устраивать на одном из путей двухпутного участка. Необходимо исключить попадание воды между несущей бетонной плитой и тощим бетоном.

6. Существенные риски состоят в том, что безбалластный путь более требователен к соблюдению технологии строительства, состава бетонных смесей и качества подготовки основания. Кроме того, при проектировании необходимо учесть подвижность «слабых» оснований.

По этим причинам безбалластный путь предпочтительнее устраивать на эстакадах, мостах и в тоннелях.

7. Теоретически затраты на сооружение безбалластного пути больше, поэтому они должны компенсироваться минимальными затратами на его текущее содержание. Вероятность появления неисправности на безбалластном пути существенно меньше, но риск резкого увеличения затрат на ее устранение значительно

Таблица 4

Ускорения буксового узла, м/с²

Частотный диапазон при обработке, Гц	Диапазон скоростей движения, км/ч	Опытные участки, конструкция верхнего строения пути		
		типовая	с переходной жесткостью	безбалластная
0—50	110—120	2,76 8,28	2,96 8,88	3,17 9,51
	190—210	3,22 9,66	4,23 12,69	3,78 11,34

Примечание. В числителе — СКО реализаций ускорений; в знаменателе — максимальные вероятные значения.



Рис. 17. Схема нивелировки опытного участка пути на перегоне Тосно — Саблино, 2-й главный путь

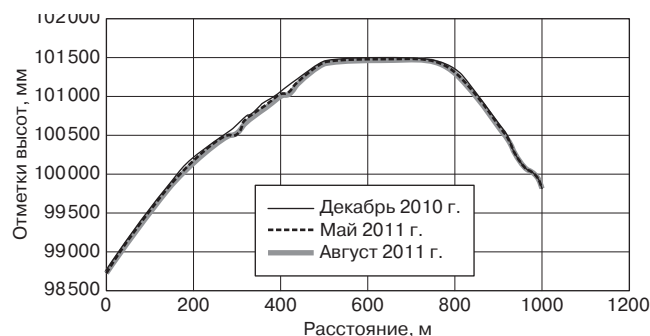


Рис. 18. Нивелировка головки рельса

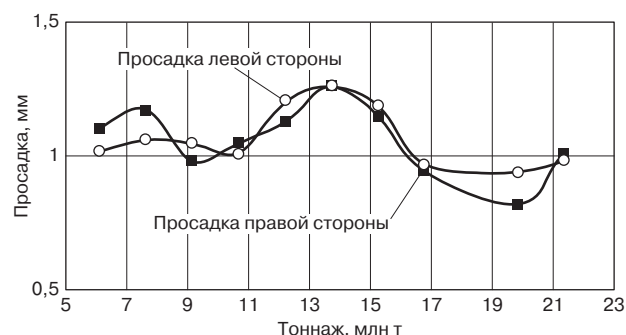


Рис. 19. Зависимость просадок от пропущенного тоннажа

выше. Например, просадка на балластном пути устраняется относительно недорогой процедурой подбивки щебня, а просадка бетонной плиты на безбалластном пути требует огромных затрат времени и средств. Эти факторы риска необходимо учесть при расчете стоимости жизненного цикла железнодорожного пути на безбалластном основании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савин А. В. Выбор конструкции пути для высокоскоростного движения // Вестник ВНИИЖТ. 2014. № 1. С. 55 – 59.
2. Безбалластная конструкция RHEDA. Использование безбалластных конструкций на железных дорогах России / В. В. Третьяков [и др.] // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог. Конференция МГУПС (МИИТ). М., 2011. С. 65 – 69.
3. Ермаков В. М., Загитов Э. Д. Опытный полигон на линии Санкт-Петербург — Москва // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 5. С. 2 – 5.
4. Савин А. В. Участки переменной жесткости для безбалластного пути // Путь и путевое хозяйство. 2014. № 8. С. 2 – 6.
5. ГОСТ Р 55050 – 2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний. М.: Росстандарт.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

САВИН Александр Владимирович, заведующий отделением «Сертификация, метрология и стандартизация», начальник испытательного центра, ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-41-36. E-mail: 2604136@mail.ru

БРЖЕЗОВСКИЙ Александр Менделович, ведущий научный сотрудник отделения «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (495) 602-84-52. E-mail: s_brz@mail.ru

ТРЕТЬЯКОВ Василий Владимирович, ведущий научный сотрудник отделения «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 260-30-29. E-mail: silver-tvv@mail.ru

СМЕЛЯНСКИЙ Игорь Владимирович, ведущий научный сотрудник отделения «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (495) 602-80-18. E-mail: riky83@mail.ru

ТОЛМАЧЕВ Сергей Владимирович, старший научный сотрудник отделения «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (495) 602-80-31. E-mail: karst@yandex.ru

Investigation of Track Superstructure Ballastless Design

Alexander V. Savin, Candidate of Technical Science, Head of Department for Certification, Metrology and Standardization, Head of Testing Centre, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604136. E-mail: 2604136@mail.ru

Alexander M. Brzhezovskiy, Candidate of Technical Science, Leading Researcher, Department for Comprehensive Investigations of Track — Vehicle Interaction, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 6028452. E-mail: s_brz@mail.ru

Vasily V. Tret'yakov, Candidate of Technical Science, Leading Researcher, Department for Comprehensive Investigations of Track — Vehicle Interaction, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2603029. E-mail: silver-tvv@mail.ru

Igor V. Smelyanskiy, Candidate of Technical Science, Leading Researcher, Department for Comprehensive Investigations of Track — Vehicle Interaction, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 6028018. E-mail: riky83@mail.ru

Sergey V. Tolmachev, Senior Researcher, Department for Comprehensive Investigations of Track — Vehicle Interaction, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (495) 6028031. E-mail: karst@yandex.ru

Abstract. In 2009 there were constructed and brought into pilot operation two sections of RHEDA 2000 ballastless track designed by RailOne (Germany) with the participation of JSC "Roszheldorproekt", one of them on the Moskovskaya Railway (in the VNIIZhT's Testing Center at the station of Scherbinka) and another — on Oktyabr'skaya Railway (on the open line between Sablino and Kolpino). Prior to and in the course of pilot operation the VNIIZhT experts conducted actual loading tests at both sections and routine observations of various ballastless track components' behaviour under increasing passed tonnage conditions.

There are presented the most significant test and observation results as well as test results based conclusions.

Keywords: ballastless track; tests; tonnage; speed; freight traffic density; depression of track; transition segments; rigidity; stresses; shifts

References

1. Savin A. V. *Vybor konstruktsii puti dlya vysokoskorostnogo dvizheniya* [Track design selection for high-speed traffic operations]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 1, pp. 55 – 59.

2. Tret'yakov V. V. et al. *Bezbballastnaya konstruktsiya RHEDA. Ispol'zovanie bezballastnykh konstruktsiy na zheleznykh dorogakh Rossii* [Ballastless RHEDA construction. Use of ballastless structures on the railways of Russia]. Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zemlyanogo polotna zheleznykh dorog. Konferentsiya MGUPS (MIIT) [Current problems of the design, construction and operation of the railway roadbed. Conf. of the Moscow State University of Railway Transport]. Moscow, MGUPS Publ., 2011, pp. 65 – 69.

3. Ermakov V. M., Zagitov E. D. *Opytnyy poligon na linii Sankt-Peterburg — Moskva* [Testing ground on the route St. Petersburg — Moscow]. Put' i putevoe khozyaystvo, 2011, no. 5, pp. 2 – 5.

4. Savin A. V. *Uchastki peremennoy zhestkosti dlya bezballastnogo puti* [Line sections of variable rigidity for non-ballasted track]. Put' i putevoe khozyaystvo, 2014, no. 8, pp. 2 – 6.

5. *GOST 55050 – 2012. Railway rolling stock. Permissible exposure norms to the railway track and test methods*. Moscow, Rosstandart Publ., 2013. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-55050-2012>. (in Russ.).