

Аспекты проектирования и расчета железнодорожного пути, предназначенного для выделенных пассажирских линий

Д. В. ОВЧИННИКОВ¹, К. А. КУЛЬГИН²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «СамГУПС»), Самара, 443066, Россия

² Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы применения на железных дорогах Российской Федерации выделенных пассажирских линий для внутригородских и межрегиональных перевозок, которые в перспективе обеспечат ускорение пассажирского движения за счет изменения технологии перевозок, увеличат провозные и пропускные способности железных дорог, обеспечат сокращение затрат на строительство и текущее содержание, а также оптимизируют потребность в развитии инфраструктуры. Конструкции верхнего строения пути, применяемые для перевозочного процесса в настоящее время, разрабатывались и внедрялись с учетом смешанного движения — пассажирского и грузового. Рост нагрузок на ось в грузовом движении, а также длины поездов предполагает усиление (утяжеление) типовых конструкций железнодорожного пути для возможного обеспечения гарантированного безопасного пропуска тоннажа более 1 млрд т брутто. В то же время исключительно для пассажирского движения типовая конструкция железнодорожного пути является избыточной и может быть оптимизирована с точки зрения сокращения материалов верхнего строения пути с одновременным изменением конфигурации ремонтных схем и условий текущего содержания.

В статье представлена оценка возможности применения «пассажирской» конструкции пути на выделенных пассажирских линиях для внутригородских и межрегиональных перевозок по критериям допускаемого запаса прочности в среде конечно-элементного анализа — наиболее прогрессивного метода расчета конструкций, испытывающих сложное нагружение. Представлены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути различных конфигураций, в том числе перспективных облегченных вариантов с рельсами типа Р50 и железобетонными шпалами с подшпальными прокладками. На основании выполненных расчетов приведены рекомендации областей применения рассмотренных конфигураций пути с точки зрения допускаемых напряжений в его элементах.

Ключевые слова: железные дороги; выделенные пассажирские линии; моделирование; метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние; конфигурация пути

Введение. В настоящее время с учетом развития железнодорожных перевозок возникла потребность разделения специализации инфраструктуры для движения пассажирских и грузовых поездов, внедрения новых технических средств и оборудования, совершенствования технологии перевозок и повы-

шения эффективности малоинтенсивных линий, требуется создание «пассажирской» конструкции пути для выделенных пассажирских линий, позволяющей осуществлять пассажирские перевозки на городских и межрегиональных направлениях. Зарубежный и отечественный опыт показывает, что при возникновении проблемы снижения конкурентоспособности железнодорожных линий и отсутствия пропускных способностей в загруженных транспортных коридорах наибольшие эффекты в долгосрочной перспективе достигаются не полумерами в виде специализации существующих перегруженных линий, а строительством качественной транспортной инфраструктуры в виде выделенных пассажирских линий.

Одним из инструментов повышения эффективности железнодорожного транспорта является развитие скоростных и высокоскоростных межрегиональных сообщений, однако существующая железнодорожная инфраструктура предназначена для смешанного движения подвижного состава — железнодорожные линии являются универсальными по своей конструкции и технологии строительства, и на них осуществляются как грузовые, так и пассажирские перевозки.

В связи с этим необходимо сформировать комплекс требований для всевозможных вариантов конструкции железнодорожного пути для выделенного пассажирского движения с точки зрения прочности, устойчивости и экономической целесообразности.

Общие задачи, связанные с развитием и внедрением в эксплуатацию выделенных пассажирских линий для внутригородских и межрегиональных перевозок, напрямую связаны с формированием матрицы вариантов конструкции, отвечающих всем вышеуказанным критериям, для изменения технологии работы, проектирования и эксплуатации специализированных железнодорожных линий.

В данной статье рассмотрен комплекс требований, относящихся к прочности конструкции.

Трехмерная модель пути. В настоящее время расчет пути на прочность возможен как с помощью аналитических методов, так и с применением современных инженеринговых технологий, а именно метода конечных элементов.

Расчет по так называемому классическому методу позволяет получать достоверные результаты не для всех сочетаний нагрузок, толщины подрельсового основания и т. п.; большинство коэффициентов для расчета получено эмпирическим путем для конкретного типа конфигурации верхнего строения пути, а затем с помощью математических методов данные коэффициенты экстраполированы на другие состояния пути. Возникают ситуации, когда напряженно-деформированное состояние элементов железнодорожного пути с высокой точностью повторяет напряжения, реально возникающие в конструкции, но в то же время при сочетании различных факторов погрешность классического метода может составлять до 25 % [1].

Определение напряженно-деформированного состояния элементов железнодорожного пути эмпирическими методами предполагает применение дорогостоящих исследований, измерительных систем и трудоемкий процесс верификации полученных данных. В то же время современные средства аналитической оценки напряжений и деформаций позволяют с высокой точностью определять локальные внутренние силовые факторы в любых элементах конструкции, используя метод конечных элементов, который в настоящее время получил глубокие теоретические обоснования и применяется для решения весьма широкого круга задач механики, прочности, устойчивости и долговечности

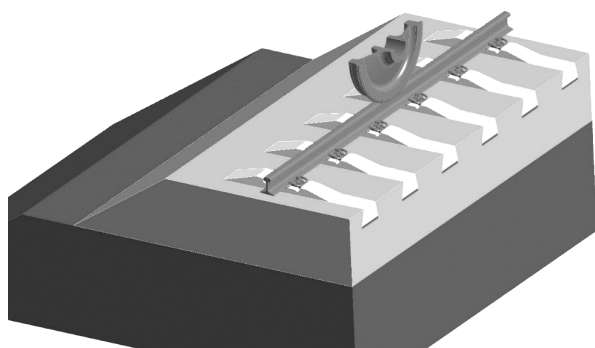


Рис. 1. Общий вид трехмерной модели пути с рельсами типа Р50, промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш(м), железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1600 шп./км и подшпальными прокладками, толщиной балластного слоя под шпалой 45 см

Fig. General view of a three-dimensional model of a track with R50 rails, intermediate rail fasteners ZhBR-Sh(m), reinforced concrete sleepers with a stacking diagram of 1600 sleeper/km and under sleeper pads, a ballast layer thickness under the sleeper of 45 cm

[2–6], стационарных задач распространения тепла, распределения электрического поля, задач гидромеханики и др.

Для решения поставленной задачи разработаны трехмерные модели участков железнодорожного пути, полностью повторяющие конфигурацию реального действующего пути, а также перспективные варианты «пассажирской» конструкции, предназначенные исключительно для выделенного пассажирского движения, в частности верхнее строение пути с рельсами Р50, модернизированными промежуточными скреплениями ЖБР-Ш(м), и железобетонными шпалами типа ШЗ-Д, модифицированными для возможности применения рельсов этого типа.

Трехмерная модель железнодорожного пути указанной конфигурации с толщиной балласта под шпалой 45 см представлена на рис. 1.

Были рассмотрены следующие конструкции:

- рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км и использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см.

Применение рельсов Р50 на железных дорогах Российской Федерации не предусматривает использования железобетонных подрельсовых опор. Для оценки напряженного состояния конструкции верхнего строения пути с рельсами типа Р50 и железобетонными опорами разработана конструкция прототипа промежуточных рельсовых скреплений на базе ЖБР-Ш для уменьшенной толщины подошвы рельса: 132 мм у рельса Р50 против 150 мм у рельса типа Р65. Также модификации подлежит типовая шпала для дюбельных промежуточных скреплений ШЗ-Д: изменяются места размещения и фиксации упорной скобы. Внешний вид модернизированного промежуточного скрепления ЖБР-Ш(м) представлен на рис. 2.

Для снижения давлений на основной площадке земляного полотна (ОПЗП), а также для более равно-

мерного распределения нагрузки, передаваемой от подрельсовой опоры на балластный слой, предлагается использование упругих подшпальных прокладок с оптимальными физико-механическими свойствами, представленными в [7]. Для нагрузок на ось более 23 т целесообразно применять подшпальные прокладки с модулем упругости первого рода порядка 3,0–3,1 МПа.

Общий вид узла рельсового крепления со шпалой и подшпальной прокладкой представлен на рис. 3.

На основе трехмерных моделей спроектированы конечно-элементные модели участка железнодорожного пути. Мощность модели составляет порядка 2,0–2,5 млн узлов (элементы гексаэдральной формы) с учетом использования свойств симметрии и задания всех необходимых контактных связей (применяются контакты, допускающие небольшое перемещение взаимодействующих поверхностей, а также жесткие сцепления в зависимости от каждого конкретного случая контактирования), присутствующих в реальной конструкции железнодорожного пути. По нижней плоскости земляного полотна моделируется жесткая заделка. Размер элемента подобран путем минимализации времени расчета. В местах концентрации напряжений размер элемента уменьшается до тех пор, пока это дает прибавку по точности выходных данных.

Пример конечно-элементной модели пути с рельсами типа Р65, промежуточными рельсовыми креплениями ЖБР-Ш, железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщиной балластного слоя под шпалой 45 см представлен на рис. 4.

Расчетные значения усилий на рельсы от подвижного состава составляют от 20 до 25 т на ось, при боковых воздействиях до 4 т, что соответствует интервалу реальных нагрузок, действующих на путь со стороны пассажирского подвижного состава: в настоящее время на железнодорожных линиях обращаются пассажирские поезда и электропоезда с нагрузками до 22,5 т/ось («Аллегро» — 18 т/ось, «Стриж» — 20,7 т/ось, электропоезд «Ласточка» — 18,8 т/ось, электропоезда ЭД2Т, ЭД9Т — 21 т/ось, электровоз ЭП20 — 21,5 т/ось, двухэтажные электропоезда «Штадлер» — 21,42 т/ось).

Физико-механические свойства элементов конструкции полностью соответствуют параметрам материалов, применяемых на отечественных железных дорогах.

Результаты моделирования. В процессе моделирования получены следующие виды напряжений:

- нормальные напряжения на внутренней кромке подошвы рельса;
- нормальные напряжения на наружной кромке подошвы рельса;
- максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена между шпалами);

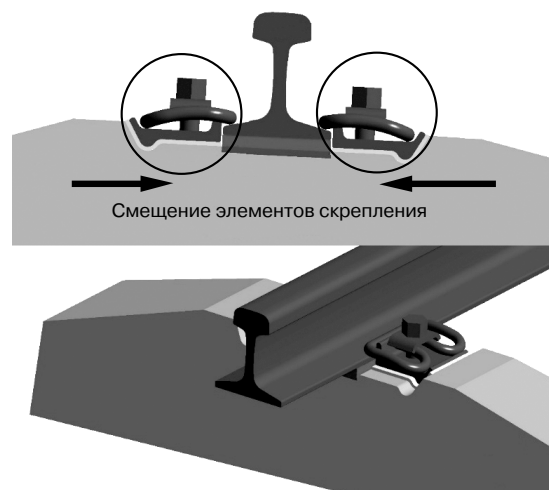


Рис. 2. Общий вид модернизированного промежуточного крепления ЖБР-Ш(м) для рельсов типа Р50
Fig. 2. General view of the modernized intermediate fastening ZhBR-Sh(m) for R50 rails

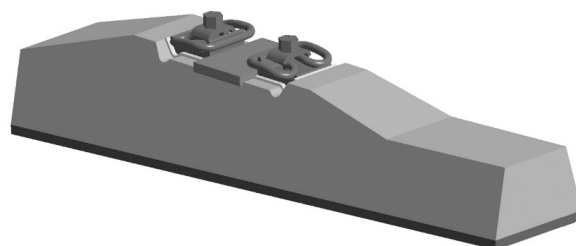


Рис. 3. Прототип модернизированного промежуточного крепления ЖБР-Ш(м) для рельсов типа Р50 с железобетонной шпалой и подшпальной прокладкой
Fig. 3. Prototype of the modernized intermediate fastening ZhBR-Sh(m) for R50 rails with a reinforced concrete sleeper and an under sleeper pad

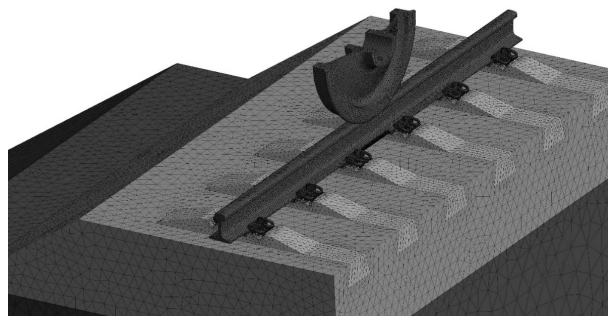


Рис. 4. Конечно-элементная модель пути с рельсами типа Р65, промежуточными рельсовыми креплениями ЖБР-Ш, железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщиной балластного слоя под шпалой 45 см
Fig. 4. Finite element model of a track with R65 rails, intermediate rail fasteners ZhBR-Sh(m), reinforced concrete sleepers with a sleepering diagram of 1840 sleeper/km, a ballast layer thickness under the sleeper of 45 cm



Рис. 5. Нормальные напряжения на наружной кромке подошвы рельса. Толщина балластного слоя 45 см, эпюра укладки 1600 шп./км, колесо между шпалами
Fig. 5. Normal stresses on the outer edge of the rail foot. Thickness of the ballast layer is 45 cm, sleepering diagram is 1600 sleeper/km, the wheel between the sleepers

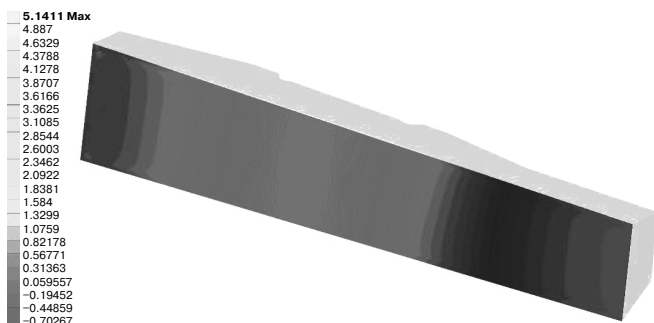


Рис. 6. Нормальные напряжения в подошве шпалы (в плоскости подошвы). Толщина балластного слоя 45 см, эпюра укладки 1600 шп./км, колесо над шпалой
Fig. 6. Normal stresses in the sole of the sleeper (in the plane of the sole). Thickness of the ballast layer is 45 cm, sleepering diagram is 1600 sleeper/km, wheel over the sleeper

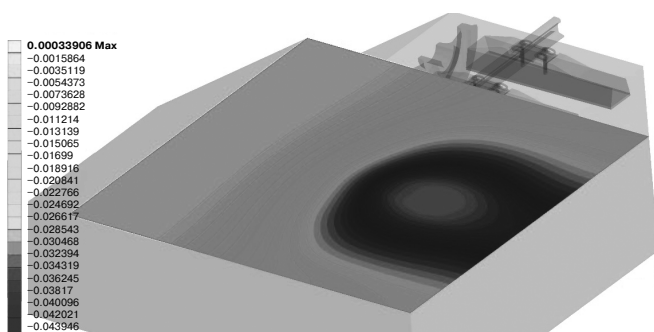


Рис. 7. Нормальные напряжения на ОПЗП. Толщина балластного слоя 45 см, эпюра укладки 1600 шп./км, колесо над шпалой
Fig. 7. Normal stresses at the main site of the subgrade. Thickness of the ballast layer is 45 cm, sleepering diagram is 1600 sleeper/km, wheel over the sleeper

- нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена между шпалами);
- максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена над шпалой);

- нормальные напряжения в центральной части верхней области шпалы (в плоскости верхней области шпалы);
- нормальные напряжения в подошве шпалы (в плоскости подошвы);
- средние значения нормальных напряжений в балластном слое (вертикальная ось);
- нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена над шпалой).

Среднее значение нормальных напряжений в балластном слое используется в связи со спецификой моделирования сыпучих сред с помощью метода конечных элементов — для исключения влияния концентраторов напряжений на гранях шпалы. Таким образом достигается лучшая адекватность сравнительного анализа напряженного состояния балластного слоя при различных типах верхнего строения пути.

Пример выходных данных результатов моделирования воздействия подвижного состава на участок железнодорожного пути с промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш(м) представлен далее в виде контуров нормальных напряжений и перемещений в элементах железнодорожного пути при толщине балластного слоя 45 см, вертикальной нагрузке на путь от колеса 122,63 кН, боковом усилии 39,24 кН (рис. 5–7). В общем виде для данной конструкции пути результаты моделирования представлены в табл. 1.

На первом этапе внедрения «пассажирской» конструкции пути на выделенных пассажирских линиях для внутригородских и межрегиональных перевозок необходимо определить конфигурации пути, удовлетворяющие требованиям Методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности [8], а также определить допускаемые эквивалентные силы, передаваемые от колеса на рельс, в аспекте неперевышения предельных значений напряжений в элементах пути. Под эквивалентными силами понимаются усилия, возникающие при воздействии колес подвижного состава на рельсы с учетом жесткости подрельсового основания, а также конструктивных особенностей тележек экипажей.

В качестве основного критерия выступают допускаемые напряжения по условию несущей способности в уровне ОПЗП — $[\sigma_0]$. Допускаемые напряжения на ОПЗП для грузовых и пассажирских вагонов согласно Методике [8] составляют 80 кПа.

Предельные величины эквивалентных нагрузок от колес подвижного состава для каждого исследованного типа верхнего строения пути представлены в табл. 2. Количественные параметры нагрузок вычислены с помощью математической интерполяции результатов, полученных в ходе моделирования. По-

Таблица 1

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния конструкции пути с рельсами типа Р50, промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш(м), железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1600 шп./км с подшпальными прокладками, толщиной балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см

Table 1

Results of modeling the stress-strain state of the track structure with R50 rails, intermediate rail fasteners ZhBR-Sh(m), reinforced concrete sleepers with sleeper diagram of 1600 sleeper/km with under sleeper pads, ballast layer thickness under the sleeper is 45, 35 and 25 cm

Вертикальная сила от колеса, кН	Боковая сила от колеса, кН	Нормальные напряжения на внутренней кромке подошвы рельса, МПа	Нормальные напряжения на наружной кромке подошвы рельса, МПа	Максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена между шпалами), мм	Нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена между шпалами), МПа	Максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена над шпалой), мм	Нормальные напряжения в центральной части верхней области шпалы (в плоскости верхней области шпалы), МПа	Нормальные напряжения в подошве шпалы (в плоскости подошвы), МПа	Средние значения нормальных напряжений в балластном слое (вертикальная ось), МПа	Нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена над шпалой), МПа
Толщина балластного слоя под шпалой 45 см										
98,10	0	63,590	47,197	1,010	−0,049	0,861	2,219	4,048	−0,055	−0,050
98,10	19,62	37,378	73,904	1,047	−0,047	0,919	2,844	4,157	−0,057	−0,049
98,10	39,24	13,658	100,350	1,231	−0,047	1,191	3,686	4,211	−0,064	−0,049
122,63	0	79,885	59,527	1,293	−0,058	1,114	3,067	4,937	−0,080	−0,059
122,63	19,62	53,455	85,887	1,282	−0,057	1,245	3,647	5,050	−0,081	−0,058
122,63	39,24	26,984	112,260	1,460	−0,056	1,376	4,264	5,141	−0,082	−0,057
Толщина балластного слоя под шпалой 35 см										
98,10	0	62,844	46,084	0,950	−0,051	0,873	2,060	3,917	−0,053	−0,052
98,10	19,62	36,595	72,421	1,014	−0,050	0,921	2,725	4,009	−0,056	−0,051
98,10	39,24	15,315	98,729	1,196	−0,050	1,069	3,373	4,094	−0,057	−0,051
122,63	0	78,750	58,024	1,216	−0,060	1,119	2,765	4,838	−0,074	−0,062
122,63	19,62	52,498	84,319	1,243	−0,059	1,137	3,392	4,927	−0,077	−0,062
122,63	39,24	26,252	110,600	1,422	−0,059	1,279	4,027	5,004	−0,077	−0,062
Толщина балластного слоя под шпалой 25 см										
98,10	0	63,521	47,331	1,003	−0,052	0,870	2,202	3,940	−0,057	−0,056
98,10	19,62	37,061	73,675	1,041	−0,051	1,146	3,149	4,122	−0,065	−0,058
98,10	39,24	13,588	100,020	1,224	−0,052	1,292	3,806	4,201	−0,065	−0,059
122,63	0	79,277	59,170	1,260	−0,063	1,214	3,164	4,936	−0,082	−0,072
122,63	19,62	52,897	85,534	1,264	−0,062	1,353	3,777	5,051	−0,083	−0,073
122,63	39,24	26,461	111,890	1,445	−0,062	1,497	4,435	5,149	−0,084	−0,074

казатель напряженного состояния на ОПЗП ниже 80 кПа при воздействии эквивалентной нагрузки от колеса 122,63 кН (25 т/ось) для пассажирского движения является достаточным для обеспечения несущей способности в уровне ОПЗП с необходимым запасом. Этим условиям отвечают варианты 1, 2, 4–8, 10, 11, 13–15.

Дальнейшие работы по формированию матрицы вариантов «пассажирской» конструкции пути пред-

ставляют собой проведение комплексных расчетов по устойчивости бесстыкового пути рассмотренных конструкций тоже в среде конечно-элементного моделирования [9, 10] и окончательную оценку экономической эффективности рассматриваемых вариантов пути на основании общего снижения стоимости элементов верхнего строения пути на 1 км, учитывая только варианты, в которых уровень напряженно-деформированного состояния при

Таблица 2

Предельные величины эквивалентных нагрузок от колес подвижного состава для различных конфигураций верхнего строения пути

Table 2

Limit values of equivalent loads from rolling stock wheels for various configurations of track superstructure

Номер варианта	Конфигурация пути	Предельная эквивалентная нагрузка от колеса, кН
1	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
2	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
3	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	111,65 кН (22,76 т/ось)
4	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
5	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
6	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	122,63 кН (25 т/ось)
7	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
8	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
9	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	113,99 кН (23,24 т/ось)
10	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
11	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
12	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	107,63 кН (21,94 т/ось)
13	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км с использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
14	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км с использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
15	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км с использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	122,63 кН (25 т/ось)

нагрузках от пассажирского движения либо сопоставим, либо ниже, чем в типовой конструкции при смешанном движении, что позволяет говорить также о снижении затрат на текущее содержание.

Заключение. Определены максимальные допускаемые эквивалентные нагрузки от колес подвижного состава для различных типов верхнего строения пути, в том числе перспективных модернизированных конструкций с рельсами типа Р50. Толщина балласта под шпалой 25 см не обеспечивает допускаемый уровень напряжений на основной площадке земляного полотна без применения подшпальных прокладок, поэтому на данном этапе проектирования выделенных пас-

сажирских линий наиболее перспективным с точки зрения экономической эффективности выглядит вариант с рельсами типа Р50 с эпюрой укладки железобетонных шпал 1600 шп./км и использованием подшпальных прокладок, толщиной балластного слоя под шпалой 25–35 см. Такая конструкция, в отличие от типовой с рельсами Р65 с эпюрой укладки железобетонных шпал 1600 шп./км, имеет больший запас по устойчивости бесстыкового пути против выброса за счет меньшей площади сечения рельса и, как следствие, меньших температурных усилий, возникающих в рельсах при изменении температуры относительно температуры закрепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников Д. В., Покацкий В. А. Определение напряженно-деформированного состояния основной площадки земляного полотна в зависимости от толщины балластного слоя и песчаной подушки при различной нагрузке на ось // Наука и образование транспорту. 2016. № 2. С. 176–180.
2. Косенко С. А., Исаенко Э. П. Моделирование и расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций железнодорожного пути методом конечных элементов. Новосибирск: Изд-во Сибирского гос. ун-та путей сообщения, 2017. 144 с.
3. Рязанцев А. П., Каменчуков А. В. Оценка устойчивости откосов земляного полотна на оползнеопасных участках // Материалы 60-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ (Хабаровск, 28 мая 2020 г.). Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2020. С. 74–80.
4. Bokarev S. A., Zhunev K. O., Usol'tsev A. M. Stress-strain behavior of welded joints in railway girders // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 8 (84). P. 119–129.
5. Скутин Д. А. Расчет напряжений в балластной призме, усиленной геосинтетическими материалами // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2015. № 4 (28). С. 141–149.
6. Малаканов С. А., Арзамасцева В. А. Исследование конструкции упругой клеммы на основе критериальной оценки формы поперечного сечения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2017. № 2. С. 25–28.
7. Расчетно-экспериментальная оценка влияния использования подшпальных прокладок на показатели динамического воздей-

ствия подвижного состава на путь в стыковой зоне / В. Н. Каплин [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78. № 4. С. 241–248. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-241-248>.

8. Общие положения методики оценки воздействия подвижного состава на путь по критериям прочности и надежности / В. О. Певзнер [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 3. С. 34–37.

9. Овчинников Д. В., Покацкий В. А., Суслев О. А. Оценка устойчивости бесстыкового пути при отступлениях от норм содержания в плане методом конечных элементов // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 6 (42). С. 87–93.

10. Овчинников Д. В. Аспекты определения устойчивости бесстыкового пути при воздействии подвижного состава // Наука и образование транспорту. 2019. № 2. С. 155–159.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ОВЧИННИКОВ Дмитрий Владиславович, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Путь и путевое хозяйство», ФГБОУ ВО «СамГУПС»

КУЛЬГИН Константин Александрович, и.о. начальника Центра управления проектами, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 29.11.2021 г., первая рецензия получена 01.12.2021 г., вторая рецензия получена 02.12.2021 г., принята к публикации 02.12.2021 г.

Для цитирования: Овчинников Д. В., Кульгин К. А. Аспекты проектирования и расчета железнодорожного пути, предназначенного для выделенных пассажирских линий // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 351–358. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-351-358>.

Aspects of design and calculation of a railway track intended for dedicated passenger lines

D. V. OVCHINNIKOV¹, K. A. KUL'GIN²

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Transport University" (FGBOU VO "SamGUPS"), Samara, 443066, Russia

²Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. The article considers issues of application of dedicated passenger lines for intertown and interregional transportation on the railways of the Russian Federation, which in the future will accelerate passenger traffic due to changes in transportation technology, increase the carrying and throughput capacity of railways, reduce construction costs and current maintenance, and optimize the need for infrastructure development. The structures of the track superstructure used for the transportation process at the present time were developed and implemented taking into account the mixed traffic — passenger and freight. Growth of axle loads in freight traffic, as well as the length of trains, presupposes the strengthening (weighting) of the standard structures of the railway track to possibly ensure the guaranteed safe passage of more than 1 billion gross tonnage. At the same time, exclusively for passenger traffic, the typical design of the railway track is redundant and can be optimized in terms of reducing the materials of the track superstructure with a simultaneous change in the configuration of repair schemes and current maintenance conditions.

The article presents an assessing the possibility of using a "passenger" track structure on dedicated passenger lines for in-

tertown and interregional transportation according to the criteria of the allowable margin of safety in the environment of finite element analysis — the most progressive method for calculating structures undergoing complex loading. The article presents the results of calculations of the stress-strain state of a railway track of various configurations, including promising lightweight versions with R50 rails and reinforced concrete sleepers with under sleeper pads. Based on the calculations performed, recommendations are given for the areas of application of the considered track configurations from the point of view of permissible stresses in its elements.

Keywords: railways; dedicated passenger lines; modeling; finite element method; stress-strain state; track configuration

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-351-358>

REFERENCES

1. Ovchinnikov D. V., Pokatskiy V. A. *Opreделение napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovnoy ploshchadki zemlyanogo polotna v zavisimosti ot tolshchiny ballastnogo sloya i peschanoy podushki pri razlichnoy nagruzke na os'* [Determination of

the stress-strain state of the main site of the roadbed depending on the thickness of the ballast layer and sand cushion at different axle loads]. *Nauka i obrazovanie transportu*, 2016, no 2, pp. 176–180.

2. Kosenko S. A., Isaenko E. P. *Modelirovanie i raschety napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktivnykh zhelezno-dorozhnogo puti metodom konechnykh elementov* [Modeling and calculations of the stress-strain state of railway track structures by the finite element method]. Novosibirsk, Izd-vo Sibirskogo gos. un-ta putey soobshcheniya [Publishing house of the Siberian State University of Railways], 2017, 144 p.

3. Ryazantsev A. P., Kamenchukov A. V. *Otsenka ustoychivosti otkosov zemlyanogo polotna na opolzneopasnykh uchastkakh* [Evaluation of the stability of slopes of the roadbed in landslide-hazard areas]. *Materialy 60-y studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU* (Khabarovsk, 28 maya 2020 g.) [Materials of the 60th student scientific and technical conference of the TOGU Civil Engineering Institute (Khabarovsk, May 28, 2020)]. Khabarovsk, Izd-vo Tikhookeanskogo gos. un-ta [Publishing house of the Pacific State University], 2020, pp. 74–80.

4. Bokarev S. A., Zhunev K. O., Usol'tsev A. M. *Stress-strain behavior of welded joints in railway girders*. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, No. 8 (84), pp. 119–129.

5. Skutin D. A. *Raschet napryazheniy v ballastnoy prizme, usilennoy geosinteticheskimi materialami* [Calculation of stresses in a ballast prism reinforced with geosynthetic materials]. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (28), pp. 141–149.

6. Malakanov S. A., Arzamastseva V. A. *Issledovanie konstruktivnykh uprugoy klemmy na osnovе kriterial'noy otsenki formy poperechnogo secheniya* [Investigation of the structure of an elastic clamp on the basis of a criterial assessment of the shape of the cross section]. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2017, no. 2, pp. 25–28.

7. Kaplin V. N., Myslivets M. N., Sidorova E. A., Polunina E. A. *Raschetno-eksperimental'naya otsenka vliyaniya ispol'zovaniya podshpal'nykh prokladok na pokazateli dinamicheskogo vozdeystviya*

stviya podvizhnogo sostava na put' v stykovoy zone [Estimation and test assessment of the rail pads effect on the indicators of dynamic impact of the rolling stock on the track in the joint area]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2019, Vol. 78, no. 4, pp. 241–248. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-241-248>.

8. Pevzner V. O., Ashpiz E. S., Zamukhovskiy A. V., Tret'yakov V. V., Petropavlovskaya I. B., Tret'yakov I. V., Shapet'ko K. V., Smelyanskaya I. S., Gromova T. I. *Obshchie polozheniya metodiki otsenki vozdeystviya podvizhnogo sostava na put' po kriteriyam prochnosti i nadezhnosti* [General provisions of the methodics for assessing the impact of rolling stock on the track according to the criteria of strength and reliability]. *Railway Track and Facilities*, 2019, no. 3, pp. 34–37.

9. Ovchinnikov D. V., Pokatskiy V. A., Suslov O. A. *Otsenka ustoychivosti besstykovogo puti pri otstupleniyakh ot norm soderzhaniya v plane metodom konechnykh elementov* [Assessment of the stability of a continuous welded track in case of deviations from the maintenance standards in terms of the finite element method]. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2013, no. 6 (42), pp. 87–93.

10. Ovchinnikov D. V. *Aspekty opredeleniya ustoychivosti besstykovogo puti pri vozdeystvii podvizhnogo sostava* [Aspects of determining the stability of a continuous welded track under the influence of rolling stock]. *Nauka i obrazovanie transportu*, 2019, no. 2, pp. 155–159.

ABOUT THE AUTHORS

Dmitriy V. OVCHINNIKOV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department “Tracks and track facility”, FGBOU VO “SamGUPS”

Konstantin A. KUL'GIN,

Acting Head of the Project Management Center, JSC “VNIIZHT”

Received 29.11.2021

First review received 01.12.2021

Second review received 02.12.2021

Accepted 02.12.2021

■ E-mail: ovchinnikov@samgups.ru (D. V. Ovchinnikov)

For citation: Ovchinnikov D. V., Kul'gin K. A. Aspects of design and calculation of a railway track intended for dedicated passenger lines // *Russian Railway Science*. 2021. 80 (6): 351–358 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-351-358>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием подвижного состава. Том 1. Грузовые вагоны / пер. с англ. под ред. С. М. Захарова. — М.: АО «ВНИИЖТ», 2021. — 456 с.

Рассмотрены базовые аспекты, связанные с созданием и эксплуатацией грузовых вагонов. Приведены общие соображения, касающиеся способов повышения провозной способности железных дорог, производительности перевозочного процесса. Представлен пример обзора конструкций грузовых вагонов. Даны методические основы анализа и испытаний, проводимых с целью выяснения эксплуатационного ресурса по усталостной долговечности грузовых вагонов и их компонентов. Приведены экономические соображения, касающиеся применения затрат жизненного цикла для определения суммарной стоимости владения вагоном до конца срока службы. Кратко описаны современные методы компьютерного моделирования усталостных проявлений в контактах качения и процедуры испытаний. Освещается передовой опыт контроля технического состояния, технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. Рассмотрены мероприятия технического обслуживания и ремонта и особенности нормативно-правового регу-

лирования технической эксплуатации грузовых вагонов разных стран. Описаны средства мониторинга технического состояния грузовых вагонов и поездов непосредственно в процессе движения. Приведена информация о ряде напольных систем мониторинга. Представлено несколько примеров опыта использования напольных систем мониторинга технического состояния железнодорожного подвижного состава. Рассмотрены аспекты, которые необходимо иметь в виду при разработке технического задания на приобретение вагонов.

В конце книги приведен словарь использованных терминов и их эквивалентов на английском языке и даны определения, расшифровывающие термины.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами железнодорожного транспорта, и студентов, изучающих данные проблемы.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: journal@vniizht.ru, www.vniizht.ru.