

- 4 Путь для переходных участков при высоких осевых нагрузках // Железные дороги мира. – 2009. – № 2. – С. 74–77.
 5 Исследование мостов и подходов к ним на участках с интенсивным движением // Железные дороги мира. – 2009. – № 5. – С. 73–77.
 6 Клинов, С. И. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях / С. И. Клинов. – М. : Транспорт, 1990. – 144 с.
 7 Савин, А. В. Участки переменной жесткости для безбалластного пути / А. В. Савин // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 8. – С. 2–6.
 8 Савин, А. В. Испытания безбалластных конструкций пути / А. В. Савин, А. В. Петров, К. И. Третьяков // Техника железных дорог. – 2016. – № 2 (34). – С. 28–38.

УДК 625.142.44

СОСТОЯНИЕ ШПАЛ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ДЛИННОСОСТАВНЫХ ПОЕЗДОВ

А. В. САВИН

*Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»),
г. Москва, Российская Федерация*

С. А. ГНЕЗДИЛОВ

АО «БетЭлТранс» (АО «БЭТ»), г. Москва, Российская Федерация

В 2025 г. грузонапряженность на железных дорогах восточного полигона ОАО «РЖД» выросла до 164 млн т брутто в год, при этом количество тяжеловесных поездов в общем поездопотоке составляет около 50 %, в том числе сдвоенных поездов с распределенной тягой и массой до 14200 т. Как правило в таких поездах используются вагоны с осевой нагрузкой 25 т на ось. В этих условиях на некоторых участках в кривых радиусом около 300 м наблюдается выход из строя шпал ранее назначенного ресурса.

Повышение осевых нагрузок подвижного состава увеличивает вертикальные динамические силы, передаваемые на рельсы и, соответственно, на шпалы. Применительно к железобетонным шпалам повышение нагрузок отражается в первую очередь на увеличении изгибных напряжений в подрельсовой части шпал и выразится в росте числа шпал с повреждениями в этой их части.

Увеличение числа шпал с повреждениями в средней части также частично может быть вызвано повышением осевых нагрузок, хотя работоспособность этой части в большей степени зависит от жесткости и состояния подшпального основания.

Силовое воздействие подвижного состава на шпалы, как по величине, так и по частоте повторения, зависит от многих факторов, главными из которых являются осевые нагрузки, в первую очередь, грузовых вагонов, грузонапряженности линии, конструкции и состояния верхнего строения пути (тип рельса, эшюра укладки шпал, род балласта и др.), и состояния подвижного состава.

В результате расчетов по Методике оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности [1] (далее – Методика) были получены значения $P_{ш}^{расч}$ при осевой нагрузке 23, 25 и 27 т.

В таблице 1 даны ожидаемые максимальные значения нагрузок и рассчитанные коэффициенты запаса.

Таблица 1 – Вертикальные нагрузки на шпалу и изгибающие моменты в подрельсовом и среднем сечениях шпалы при разном уровне осевых нагрузок подвижного состава

Осевая нагрузка, тс	Нагрузка на шпалу, $P_{ш}$, тс	Изгибающий момент от $P_{ш}$, M_p , тс·м	Изгибающий момент, принятый при разработке типовых шпал, $M_p^{расч}$, тс·м	Коэффициент запаса, $M_p^{расч}/M_p$	Изгибающий момент от $P_{ш}$, M_c , тс·м	Изгибающий момент, принятый при разработке типовых шпал, $M_c^{расч}$, тс·м	Коэффициент запаса, $M_c^{расч}/M_c$
в подрельсовом сечении шпалы				в среднем сечении шпалы			
23	10,14	1,11	1,41	1,3	0,81	1,16	1,43
25	11,3	1,24	1,41	1,14	0,88	1,16	1,32
27	11,91	1,31	1,41	1,1	0,95	1,16	1,22

Способы определения вертикальных сил на шпалы, принятые в Методике, остаются справедливыми и при повышении осевых нагрузок подвижного состава, и значения этих сил, указанные в таблице 1, могут быть использованы при исследовании повреждаемости шпал.

Методика расчета железобетонных шпал в пути под действием вертикальных нагрузок детально изложена в работе «Железобетонные шпалы для рельсового пути» под редакцией А. Ф. Золотарского [2]. Она прошла проверку опытом проектирования и многочисленными стендовыми и путевыми испытаниями железобетонных шпал.

По материалам исследований и расчетов можно сделать следующие выводы:

– с повышением осевых нагрузок подвижного состава (грузовые вагоны) прямо пропорционально увеличиваются вертикальные динамические нагрузки, передаваемые на шпалы, зависящие также от основных характеристик верхнего строения пути (тип рельса, эпюры укладки шпал, упругости подшпального основания);

– железобетонные шпалы подтипов ШЗ-Д 44х3, ШС-АРС 44х3 и Ш5-ДФ 44-3, изготовленные с соблюдением требований ГОСТ 33320 [4], применяемые с рельсами типа Р65 при эпюре укладки не менее 1840 шт./км и жесткости подрельсового основания не выше 2000 кг/см², укладываемые и эксплуатируемые с выполнением требований инструкции по их содержанию [3] в части подготовки подшпального основания, сохраняют достаточную трещиностойкость при повышенных осевых нагрузках грузовых вагонов до 25 т. Критерием оценки возможности применения шпал при повышенных осевых нагрузках следует считать шпалы с коэффициентом запаса ($K > 1,3$);

– при повышенных осевых нагрузках вагонов до 27 тс необходимо применение железобетонных шпал с увеличенной на 20 % трещиностойкостью подрельсовой части, а для уже уложенных шпал – принятие мер по снижению действующих на них нагрузок путем увеличения числа шпал на 1 км.

Кроме увеличенной осевой нагрузки до 25 т на ось ОАО «РЖД» поставлена задача увеличения ресурса железнодорожного пути до 2,5 млрд т брутто.

В связи с этим компанией АО «БЭТ» проведена работа по усилению конструкции шпалы для удовлетворения повышенных требований. Разработаны и поставлены на производство шпалы железобетонные предварительно напряженные подтипа ШЗ-Д 4х10 исполнения 2(ПГ) с армированием торцевой части шпал спиралями и дополнительным армированием в зоне дюбеля спиралями со стержневой арматурой периодического профиля диаметром 9,6 мм и классом прочности бетона на сжатие В60.

Для подтверждения ресурса 2,5 млрд т брутто при осевой нагрузке 25 т на ось был проведен следующий натурный эксперимент.

На полигоне ст. Щербинка экспериментально получены напряжения в шпале при движении поезда с вагонами 23, 25 и 27 т на ось. Затем определены параметры нагружения лабораторного пульсатора, эквивалентные напряжениям в шпале при 23, 25 и 27 т на ось. После чего проведено циклическое нагружение шпал до разрушения в режимах, эквивалентных 23, 25 и 27 т на ось.

По показателям трещиностойкости и прочности при циклической нагрузке шпалы подтипа ШЗ-ПГ 4 × 10 при пропуске 100 млн циклов, что соответствует пропущенному тоннажу 2,5 млрд т брутто, выдержали ресурсные испытания при заданных режимах испытаний. Результаты лабораторных испытаний подтверждают прочностные характеристики и долговечность шпал при осевой нагрузке 25 т в пределах назначенного ресурса 2,5 млрд т брутто пропущенного груза.

Условия на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» в Щербинке отличаются от реальных режимов ведения поездов на восточном полигоне, но методический подход можно использовать для любых условий эксплуатации. Для подтверждения ресурса шпал в сложных условиях восточного полигона при движении сдвоенных поездов с распределенной тягой массой до 14200 т необходимо проведение прямого эксперимента по определению напряжений в шпалах не на Экспериментальном кольце в Щербинке, а на участках обращения длинносоставных тяжеловесных поездов. Затем необходимо определить параметры нагружения лабораторного пульсатора, эквивалентные напряжениям в шпале в этих условиях, после чего определить реальный ресурс шпал для таких участков пути.

Для повышения надежности и безопасности движения необходимо разработать нормативный документ, регламентирующий требования к конструкции пути и порядок обследования пути и подвижного состава перед запуском в обращение длинносоставных тяжеловесных поездов, а также дополнительные мероприятия по текущему содержанию таких участков.

Список литературы

- 1 Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности : утв. распоряжением ОАО «РЖД» №2706/р от 22.12.2017) // КонсультантПлюс.Россия : справ. правовая система (дата обращения : 02.10.2025).
- 2 Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев [и др.] ; под. ред. А. Ф. Золотарского. – М. : Транспорт, 1980. – 270 с.
- 3 Инструкция по ведению шпального хозяйства с железобетонными шпалами : утв. распоряжением от 12.02.2014 г. № 380р // Трудовой десант. – URL : <https://www.tdesant.ru/info/item/270> (22.09.2025).
- 4 ГОСТ 33320-2015. Шпалы железобетонные для железных дорог. Общие технические условия. – Введ. 01.03.2016. – М. : Стандартинформ, 2019. – 39 с.

УДК 625.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ДОРОГАХ

Э. П. САЗАНЧУК, Н. И. ШИШКО

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Безопасность дорожного движения – это одна из наиболее актуальных проблем в мире. Ежегодно миллионы аварий происходят из-за таких факторов, как плохое состояние дорог, отсутствие своевременных предупреждений об изменении дорожных условий, невнимательность участников дорожного движения, пренебрежение правилами дорожного движения, а также выход диких животных на проезжую часть. Проблема тяжелых последствий дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) с участием крупных диких животных все также остается актуальной и в мировом масштабе [1]. Разработка дополнительных мероприятий, способных снизить уровень аварийности на загородных участках дорог, спасти жизни людей и защитить диких животных от гибели, – важный и актуальный вопрос.

Развитие интеллектуальной инфраструктуры предлагает инновационные решения для повышения безопасности, среди которых – интеграция пьезоэлектрических элементов в дорожное полотно.

Механическая энергия – самый распространённый и универсальный вид энергии, доступный в окружающей среде. Перемещения, колебания и вибрация источника могут быть уловлены и преобразованы в электрическую энергию посредством преобразования механики в электричество [2].

Принцип действия пьезоэлектрических элементов заключается в том, что пьезоэлектрические материалы генерируют заряд под действием механического воздействия. Это явление, известное как пьезоэлектрический эффект, возникает из-за того, что приложенное давление вызывает перемещение электрических зарядов в кристаллической решётке материала, создающее разность потенциалов (напряжение) на его поверхности. В основе этого эффекта лежит особая структура кристаллов, в которых отсутствует центр симметрии. Когда кристалл деформируется, положительные и отрицательные заряды смещаются, из-за чего появляется электрическое поле.

Пьезоэлектрические элементы могут быть как кварцевыми, так и синтетическими, такими как титанат бария или пьезокерамика. Современные технологии позволяют создавать мягкие и гибкие пьезоэлементы, которые можно интегрировать в различные поверхности, включая дорожное покрытие. Проезд автомобиля на участке дороги с электрическими пьезоэлементами в дорожном покрытии вызывает деформацию этих элементов – механическое воздействие от веса и движения транспортных средств. В результате преобразования механического воздействия генерируется электрический сигнал, который можно интегрировать в различные сферы. Кроме того, благодаря способности создавать электричество при механическом воздействии, пьезоэлементы могут использоваться для сбора энергии, которая в перспективе может питать различные устройства, например, освещение или системы оповещения, или же осуществлять охранную функцию. Это делает их не только функциональными с точки зрения безопасности, но и энергоэффективными, что особенно важно для совместимости с «умными» технологиями.

Преимущества использования пьезоэлементов для повышения безопасности дорожного движения заключаются в их уникальной способности преобразовывать механическую энергию, возника-