

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ WOODWORKING INDUSTRY

УДК 625.172:625.142.21

В. В. Романенко¹, А. Б. Невзорова²

¹Белорусский государственный университет транспорта

²Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

Надежность работы деревянных шпал является одним из проблемных вопросов путевого хозяйства, особенно на фоне увеличения доли бесстыкового железнодорожного пути на железобетонных шпалах. Комплексный подход позволяет оценить факторы, влияющие на надежность работы деревянных шпал, как систему показателей обеспечения безопасности движения поездов, а также определить проблемы для дальнейшего изучения работы деревянной шпалы как элемента, оказывающего непосредственное влияние на геометрическое положение рельсовой колеи.

Методами комплексной оценки являются изучение информации о состоянии шпального хозяйства; анализ существующих проблем и поиск методов их решения; анализ нормативно-технических требований к содержанию рельсовой колеи; исследование влияния конструкции пути на надежность его работы с учетом напряжений, вызываемых от подвижного состава; выявление факторов, влияющих на надежность эксплуатации пути с деревянными шпалами.

Комплексный подход помогает выявить наиболее влияющие на техническое состояние рельсовой колеи факторы и определить поиск направлений, которые позволяют повысить надежность работы рельсовой колеи, сделать выводы по прогнозированию и перспективам применения деревянных шпал, а также предложить план дальнейших исследований технического состояния рельсовой колеи для обеспечения ее надежной геометрии.

Ключевые слова: комплексный подход, надежность, факторы, деревянная шпала, напряжения, ширина рельсовой колеи.

Для цитирования: Романенко В. В., Невзорова А. Б. Комплексный подход к оценке факторов, влияющих на надежность работы деревянных шпал // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 147–155. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-16.

V. V. Romanenko¹, A. B. Neuzorova²

¹Belarusian State University of Transport

²Sukhoi State Technical University of Gomel

INTEGRATED APPROACH TO THE ASSESSMENT OF FACTORS AFFECTING THE RELIABILITY OF WOODEN SLEEPERS

The reliability of wooden sleepers is one of the problematic issues of track facilities, especially against the background of an increase in the share of seamless railway track on reinforced concrete sleepers. An integrated approach makes it possible to evaluate the factors affecting the reliability of the operation of wooden sleepers as a system of indicators for ensuring the safety of train traffic, as well as to identify problems for further study of the operation of a wooden sleeper as an element that directly affects the geometric position of the rail gauge.

The methods of integrated assessment are the study of information on the state of the sleeper facilities, the analysis of existing problems and the search for methods for solving these problems, the analysis of regulatory and technical requirements for the maintenance of the railway track, the study of the influence of the track design on the reliability of its operation, taking into account the stresses caused by the rolling stock composition, identification of factors affecting the reliability of operation of the track with wooden sleepers.

An integrated approach made it possible to identify the most influencing factors on the technical condition of the rail gauge and determine the search for areas that would improve the reliability of the rail gauge, draw conclusions on the forecasting and prospects for the use of wooden sleepers, and also propose a plan for further research of the technical condition of the rail gauge to ensure its reliable geometry.

Keywords: integrated approach, reliability, factors, wooden sleeper, stresses, rail gauge width.

For citation: Romanenko V. V., Neuzorova A. B. Integrated approach to the assessment of factors affecting the reliability of wooden sleepers. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 1 (264), pp. 147–155. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-16 (In Russian).

Введение. Взаимодействие пути и подвижного состава – предмет изучения механических процессов, происходящих в железнодорожном пути и в подвижном составе при воздействии их друг на друга. При этом железнодорожный путь и подвижной состав рассматриваются как элементы единой механической системы «колесо – рельс». Исследование данного взаимодействия является основополагающим физическим процессом при движении локомотивов и вагонов по рельсовой колее, так как во многом определяет такие важнейшие показатели, как конструкция верхнего строения пути, ширина рельсовой колеи, нагрузка на ось, статическая нагрузка вагонов, масса и скорость движения составов, а также безопасность движения поездов.

При движении подвижного состава от колес на путь передается силовое воздействие, которое можно разложить на вертикальную и боковую составляющие, характеризующиеся особенностями конструкции ходовых частей подвижного состава и верхнего строения пути (ВСП), планом линии (прямые и кривые), а также уровнем содержания всех элементов системы «колесо – рельс» [1, 2].

Из элементов конструкции ВПС на работу системы влияет не только состояние рельсов (тип, износ, наличие дефектов), но и так называемое «подрельсовое основание», в качестве которого выступают шпалы, переводные и мостовые брусья.

На текущий момент перспективной конструкцией является бесстыковой путь на железобетонных шпалах, однако до полной замены на него в эксплуатации остается звеньевой путь на деревянных шпалах (в зависимости от назначения путей более 30% от развернутой длины).

Целью данных исследований является изучение процесса работы рельсовой колеи для прогнозирования условий надежной работы верхнего строения пути на деревянных шпалах, особенно в криволинейных участках пути малого радиуса.

Основная часть. Белорусская железная дорога (БЖД) по состоянию на 1 января 2022 г. насчитывала 11 719,8 км развернутой длины железнодорожных путей, т. е. длины в однопутном

исчислении. Исходя из назначения путей эта длина распределяется следующим образом: 7227,3 км – главные, 3620,5 км – станционные, 872,0 км – необщего пользования (на территориях предприятий), а также эксплуатируется 12 182 стрелочных перевода [3].

Как отмечалось выше, большее распространение получила конструкция ВСП – бесстыковой путь на железобетонных шпалах, однако на деревянном основании эксплуатируются 133,3 км (1,8% от общей протяженности всех путей) главных и 3620,5 км (33,5%) станционных путей, а также 507,1 км (58,2%) путей необщего пользования.

Главные пути характеризуются самыми высокими скоростями движения поездов (140 км/ч пассажирских и 80 км/ч грузовых) и осевыми нагрузками, поэтому применение деревянных шпал в качестве подрельсового основания не целесообразно ввиду жестких требований к содержанию как рельсовой колеи, так и ВСП в целом.

В зависимости от назначения путей, в которые планируется укладка деревянных шпал, они разделяются на три типа, которые, в свою очередь, различаются размерами (таблица). Толщина шпалы определяет ее жесткость как балки, а длина и ширина – необходимую площадь опоры, способную сопротивляться уgonу пути.

Размеры деревянных шпал

Тип шпалы	Толщина, мм	Ширина верхней постели, мм	Ширина нижней постели, мм	Длина, мм
I	180 ± 5	180	250 ± 5	2750 ± 5
II	160 ± 5	150	230 ± 5	2750 ± 5
III	150 ± 5	140	250 ± 5	2750 ± 5

Размеры верхней постели шпал должны обеспечивать надежную опору под промежуточное скрепление, а именно под металлическую подкладку длиной 290 мм и шириной 160 мм либо соответственно 185 и 76 мм. Такие размеры обусловлены требованиями к надежной работе узла рельсового скрепления при наличии слоя гнили древесины, который ограничивается глубиной от 20 до 40 мм для шпал I типа, от 10 до 30 мм – II типа и от 10 до 20 мм – III типа.

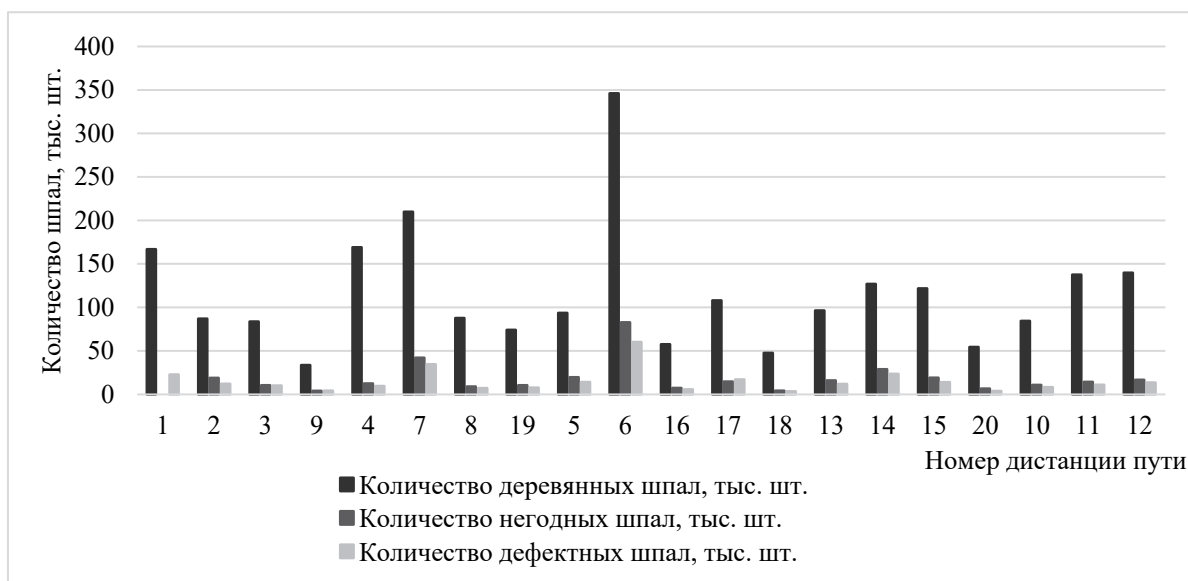


Рис. 1. Наличие и состояние деревянных шпал в дистанциях пути БЖД

Многие исследователи и производственники отмечают, что актуальность эксплуатации деревянных шпал для белорусской и российских железных дорог не уменьшается с течением времени, так как с точки зрения практического применения в ряде случаев именно эти шпалы обеспечивают наиболее оптимальные условия прохождения подвижного состава по рельсовой колее.

Значительная доля путей на деревянном основании объясняется более низкими требованиями для содержания рельсовой колеи на станционных путях, а также особенностями их устройства, к которым можно отнести наличие кривых малых радиусов, уширение ширины колеи, обращение маневровых локомотивов, вызывающих большие поперечные силы, применение гравийного или песчано-гравийного балласта. Существенным ограничением применения деревянных шпал является их недолговременность эксплуатации и быстрое развитие дефектов.

Распределение деревянных шпал по дистанциям пути БЖД (основная организация для обеспечения текущего содержания пути) приведено на рис. 1.

Установлено, что максимальное количество деревянных шпал – 346,1 тыс. шт. и 209,9 тыс. шт., эксплуатируются соответственно на Брестской (ПЧ-6) и Волковысской (ПЧ-7) дистанциях пути, отличительной особенностью которых является не только протяженность большого количества станционных путей, но и наличие путей с совмещенной колеей (рис. 2). Доля максимального количества негодных и дефектных шпал также приходится на эти дистанции.

Оршанская (ПЧ-1) и Барановичская (ПЧ-4) дистанции пути несмотря на то, что главные пути входят во II международный транспортный

коридор (Орша – Минск – Брест), включают узловые станции Барановичи и Орша, которые в свою очередь характеризуются большим количеством станционных путей с кривыми малого радиуса.

В качестве подрельсового основания кроме шпал применяются переводные брусья для стрелочных переводов и мостовые брусья для мостов с ездой на балласте. Таким образом, из 133,3 км общей протяженности главных путей 93,1 км приходится на сами пути, а 6,2 и 34,0 км соответственно на мосты и стрелочные переводы.

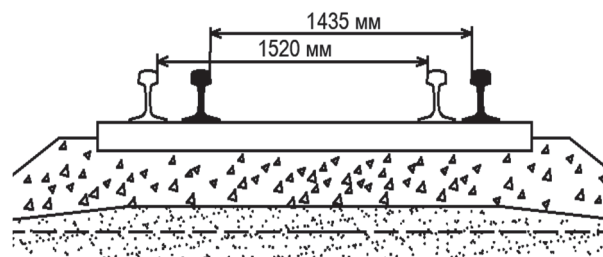


Рис. 2. Поперечный профиль с совмещенной рельсовой колеей на деревянных шпалах

Несмотря на плановую замену стрелочных переводов на деревянных брусьях новыми комплектами на железобетонных, практически половина их эксплуатируется все еще на деревянном основании. Так, например, в 2021 г. при замене 152 комплектов стрелочных переводов 25 шт. были собраны на деревянных брусьях, а также было уложено 476 комплектов новых деревянных брусьев. В настоящий момент эксплуатируемые стрелочные переводы в главных и приемоотправочных путях в объеме 45,3% (2990 комплектов) уложены на деревянном основании, а 54,7% (3607 комплектов) – на железобетонном.

Продление срока службы деревянного основания имеет большое значение для безаварийного движения поездов на БЖД, для этого необходимо выполнять целый комплекс мероприятий и множество требований [4, 5]. Особая роль в этом отводится процессу изготовления, который включает сушку и антисептирование.

Изготовление шпал для нужд БЖД, промышленных предприятий, метрополитена и т. п. происходит на ОАО «Борисовский шпалопродовольный завод», где выпускается около 600 тыс. деревянных шпал и брусьев в год. После серьезной модернизации производства с 2013 г. на заводе введена линия поверхностной наковки шпал и забивки торцевых пластин, которая при обработке изделий из древесины методом «вакуум – давление – вакуум» позволяет обеспечить равномерную пропитку антисептиком всей поверхности [6, 7].

Содержание главных путей является для дороги одной из первоочередных задач, поэтому там в первую очередь назначаются ремонты и выправочные работы с применением высокопроизводительных машин. В зависимости от класса пути (сочетание скоростей движения поездов и грузонапряженности) укладывают либо новые материалы ВСП, либо старогодные, но относящиеся в более высоким группам годности, а также применяют конструкции более высокого технического уровня. Из общей протяженности главных путей 4812,9 км (66,6%) занимает бесстыковой путь, 2414,4 км (33,4%) – звеньевой.

Не вызывает сомнения, что бесстыковой путь обладает рядом преимуществ, способствующих улучшению динамического взаимодействия пути и подвижного состава, уменьшению объемов работ, связанных с отсутствием стыков, повышению плавности и комфортабельности движения поездов и т. п. [8, 9]. Однако к его устройству предъявляются серьезные требования, которые не всегда целесообразно обеспечивать на станционных путях и путях необщего пользования. Ввиду меньшей значимости этих путей рельсовые плети укладываются только в том случае, когда их эксплуатация на путях с более высокими требованиями становится невозможной, поэтому их доля незначительна.

Звеньевой путь на железобетонных шпалах (конструкция ВСП) применяется для 60% станционных и 40% путей необщего пользования.

Железобетонные шпалы укладываются только на щебеночный балласт определенных фракций. Для надежной работы таких шпал необходима хорошая подготовка основания, исключающая их работу на изгиб [10]. Несмотря на изготовление с предварительно напряженной арматурой, их работа на изгиб незначительна и

нарушение правил уплотнения щебня (подбивка в середине) быстро приводит к дефектам (трещины, излом), в итоге дорогостоящий элемент выключается из работы, в то время как для деревянных шпал такой процесс не приводит к критическим состояниям.

Звено рельсошпальной решетки (РШР) на железобетонном основании обладает повышенным весом, так как каждая шпала весит около 250 кг, исходя из чего вес одного 25-метрового звена при рельсах типа Р65 и эюре шпал 1840 шт/км составляет порядка 18 т против 9 т на деревянных шпалах. Из этого следует, что усиливается нагрузка на земляное полотно, кроме того, под железобетонными шпалами толщина щебеночного балласта должна быть на 15% больше, чем под деревянными.

Обеспечение постоянной криволинейности рельсовой колеи в кривых малых радиусов на железобетонных шпалах бывает затруднительно, так как общая жесткость РШР увеличивается. В кривых радиусом менее 350 м необходимо устраивать уширение колеи [11] желательнее при конструкции с деревянными шпалами [12].

Для подтверждения этого положения проведем сравнительный анализ содержания криволинейных участков пути на деревянных железобетонных шпалах с обоснованием решения по приведению кривых к положению, удовлетворяющему условиям обеспечения установленной скорости движения поездов на этом участке.

Многими исследователями, изучающими проблемы взаимодействия «колесо – рельс» отмечается, что имеется ряд факторов, влияющих на процесс вписывания подвижного состава в рельсовую колею [13, 14], из которых в первую очередь можно отметить:

- скорость движения поездов;
- тип подвижного состава;
- нагрузку колесной пары на ось;
- радиус кривой;
- ширину колеи.

Под воздействием подвижного состава в пути возникают напряжения, которые постепенно передаются от рельсов на основную площадку земляного полотна (рис. 3). Величины этих напряжений отражают надежность и долговечность всей конструкции [15].

Напряжения определяют расчетом пути на прочность, критериями которой при этом являются допускаяемые напряжения:

- в рельсах [σ_r];
- под подкладкой на смятие в деревянных шпалах либо в подкладках или прокладках (в зависимости от типа промежуточного скрепления) на железобетонных шпалах [$\sigma_{ш}$];

- в балласте под шпалой в подрельсовой зоне [σ_6];
- на основной площадке земляного полотна в зависимости от толщины балластного слоя [σ_h].

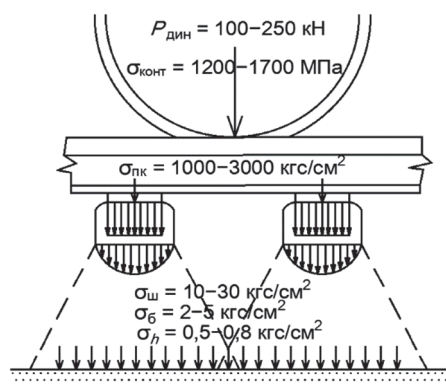


Рис. 3. Схема передачи вертикальной нагрузки колеса на земляное полотно

В расчетной модели рельс рассматривается как балка постоянного сечения на упругих поперечных опорах, которыми являются шпалы, переводные и мостовые брусья. Под действием силы от подвижного состава P рельс изгибается, а ответной реакцией от подрельсового основания является упругий отпор, причем железобетонное основание как более жесткое уступает в упругости деревянному.

Связь между прогибом и отпором определяется через коэффициент пропорциональности, называемый модулем упругости подрельсового основания U и являющийся в расчетах пути на прочность важнейшим параметром [16].

Модуль упругости представляет собой погонный упругий отпор основания, отнесенный к единице прогиба и определяемый экспериментально. В летний период на пути с деревянными шпалами U находится в границах 20–40 МПа, с железобетонными $U = 100–150$ МПа. Зимой из-за промерзания грунта U увеличивается в 1,5–2 и в 1,3–1,5 раза соответственно для деревянных и железобетонных шпал. Из-за того что в кривых радиусом 1200 м и

менее усиливается эпюра шпал, модуль также увеличивается в 1,1 раза.

Для сравнения напряжений и анализа силового воздействия локомотива на путь выполнен расчет пути на прочность на станционном участке железной дороги [17]. Установлено, что наибольшее отрицательное воздействие оказывают маневровые локомотивы, поэтому для расчета выбран тепловоз типа 30–30 серии ЧМЭЗ с осевой нагрузкой до 21,0 тс.

В качестве конструкции ВСП выбраны криволинейные участки радиусами 600, 500, 400, 300 и 200 м на деревянных и железобетонных шпалах, рельсы типа Р65 с приведенным износом 9,0 мм.

Так как величины модуля упругости в летний и зимний периоды разные, значения напряжений в шпалах и балласте также отличаются, причем они больше в зимний период. Величины напряжений в зависимости от скорости движения поездов приведены на рис. 4–7.

Максимальные напряжения из всех элементов ВСП передаются на рельсы, наибольшими значениями из которых являются кромочные в головке в летний период, в то время как остальные напряжения возрастают зимой.

Из-за влияния модуля упругости напряжения в рельсах, уложенных на деревянных шпалах, выше, чем на железобетонных. Допустимое значение напряжений в рельсах 4000 кгс/см². Максимальные значения напряжений составляют 1669 кгс/см² при скорости движения поезда 60 км/ч и 1291 кгс/см² при скорости движения поезда 5 км/ч. Сравнение с допускаемыми значениями означает обеспечение запаса надежности работы рельсов.

Анализ напряжений на рис. 4 показывает превышение напряжений на железобетонных шпалах над деревянными, что объясняется большей жесткостью железобетонного основания.

Разница между напряжениями в железобетонных шпалах летом и зимой с увеличением скорости практически не изменяется, в то время как при деревянных шпалах с увеличением скорости увеличивается и разница.

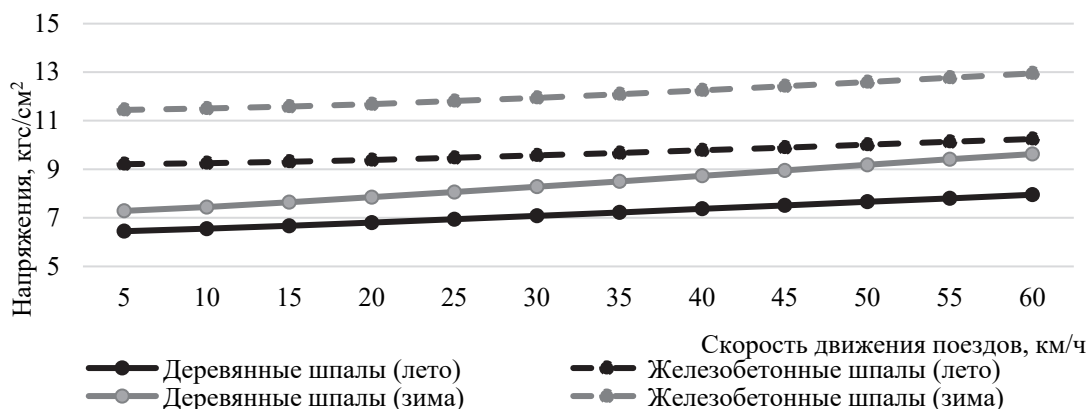
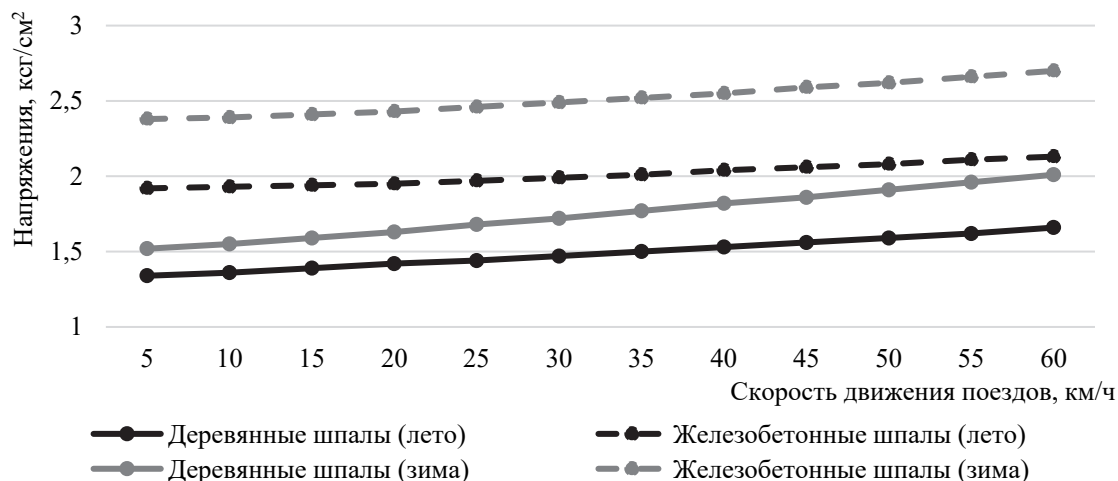


Рис. 4. Напряжения в шпалах под подкладкой $\sigma_{ш}$

Рис. 5. Напряжения в балласте под подошвой шпалы σ_6

Допустимое значение напряжений в шпалах под подкладкой $\sigma = 30 \text{ кгс/см}^2$ не превышает при обеих конструкциях ВСП. Однако большие вес и жесткость железобетонных шпал оказывают более негативное влияние на балласт, чем деревянные шпалы.

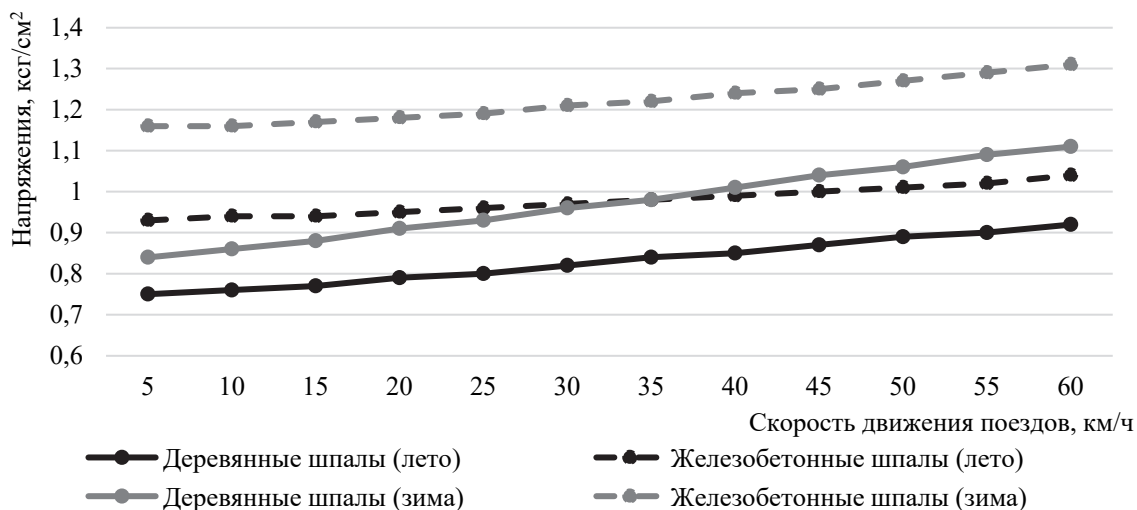
Допустимое значение напряжений в балласте под шпалой $\sigma = 5 \text{ кгс/см}^2$. Из рис. 5 видно, что при всех видах шпал, σ_6 не выходят за границы, однако при железобетонных в летний и зимний периоды они на 30% выше, а следовательно, балласт будет испытывать большее давление.

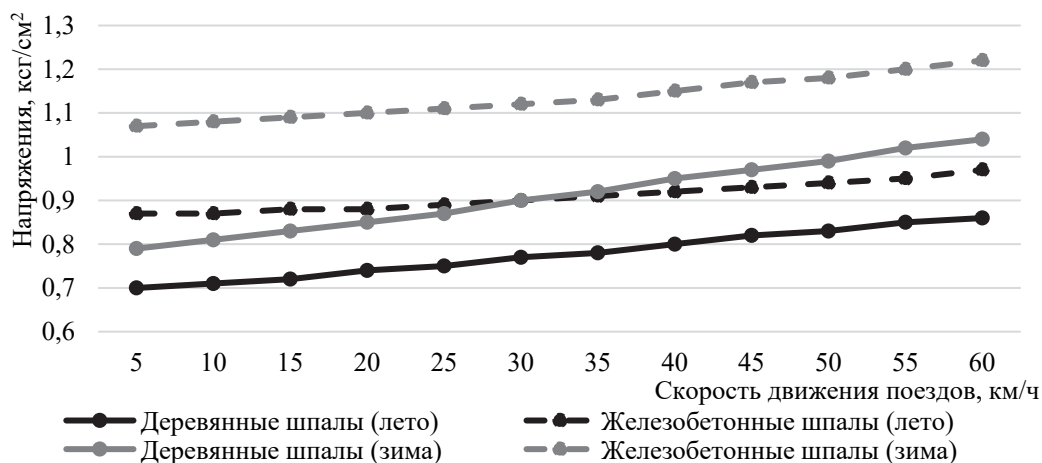
Напряжения в балласте зависят от толщины щебня под шпалой – с увеличением толщины напряжения снижаются. Допустимое значение на основной площадке земляного полотна составляет $0,8 \text{ кгс/см}^2$. Согласно нормативно-техническим требованиям к конструкции железнодорожного пути [18], минимальная толщина балласта под шпалами всех видов для путей 5-го класса должна составлять не менее 20 см.

Из графиков (рис. 6 и 7) видно, что напряжения на основной площадке при деревянных шпалах при скоростях не более 25 км/ч не превышают допуск даже при толщине щебня 10 см. Это позволяет сделать вывод о возможности надежной эксплуатации основной площадки при минимально требуемой толщине балласта.

При минимально требуемой толщине балласта 20 см путь на деревянных шпалах обеспечивает скорости движения до 40 км/ч, в то время как на железобетонных такой толщины щебня недостаточно для реализации движения локомотива даже со скоростью 5 км/ч.

Для снижения напряжений на основной площадке земляного полотна необходимо увеличить толщину щебня под железобетонными шпалами. Анализируя графики, представленные на рис. 6 и 7, возможно предположить, что при увеличении объема балласта конструкция пути на железобетонных шпалах может снизить надежность земляного полотна.

Рис. 6. Напряжения в балласте при толщине щебня под шпалой 10 см σ_n

Рис. 7. Напряжения в балласте при толщине щебня под шпалой 40 см σ_h

Заключение. Комплексная оценка факторов, основанная на анализе влияния подвижного состава в кривых, позволяет обосновать целесообразность использования деревянных шпал в кривых малого радиуса (меньше 350 м) для обеспечения нормативного уширения колеи пути до 1530 или 1535 мм, что невозможно для железобетонных шпал.

Кроме того, в комплексе с шириной колеи на путях, где не требуется реализовывать высокие скорости движения поездов, применение деревянных шпал позволит за счет уменьшения толщины щебня сократить его объемы. На малоделятельных путях возможно использовать песчано-гравийный балласт.

Комплексный подход оценки факторов, определенных в статье, влияющих на надежность работы деревянных шпал наряду с упругостью, простотой изготовления и крепления рельса, хорошим сцеплением с балластом, возможностью эксплуатации на участках с нестабильным земляным полотном, обозначает преимущество деревянных шпал перед железобетонными.

Исходя из изложенного, можно заключить, что полный отказ от использования де-

ревянных шпал не представляется возможным даже в долгосрочной перспективе. Переустройство конструкции верхнего строения пути на деревянном основании по аналогии с требованиями на железобетонном вызовет значительные финансовые и трудовые расходы, что в настоящее время практически неосуществимо по различным объективным причинам. Кроме того, возможность переустройства кривых на больший радиус существует не на каждой станции.

Комплексный подход позволил выявить наиболее влияющие на техническое состояние рельсовой колеи факторы, одним из которых является радиус кривой, а следовательно, кривизна и отклонения от необходимой кривизны. С учетом того что рельсовая колея в кривой малого радиуса (меньше 350 м) находится в более сложных условиях по сравнению в кривыми большего радиуса, дальнейшие исследования необходимо направить на выявление зависимости влияния кривизны на обеспечение надежной работы рельсовой колеи на деревянных шпалах и формирование методики оценки ее состояния в плане.

Список литературы

1. Карпушенко Н. И., Величко Д. В., Бобовникова Н. А. Влияние ширины колеи и состояния ходовых частей подвижного состава на интенсивность износов в системе «колесо – рельс» и безопасность движения // Вестник СГУПС. 2010. № 22. С. 91–101.
2. Карпушенко Н. И., Величко Д. В., Абрамовский А. М. Оценка состояния пути в кривых по динамическим показателям // Вестник СГУПС. 2010. № 22. С. 43–48.
3. Итоги работы путевого хозяйства в 2021 году и задачи на 2022 год: отчет гос. объединения «Белорусская железная дорога». Минск: Белорус. железная дорога, 2022. 16 с.
4. Божелко И. К., Леонович О. К. Определение долговечности защитных средств для древесины, эксплуатируемой в тяжелых условиях // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 200–203. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-dolgovechnosti-zaschitnyh-sredstv-dlya-drevesiny-ekspluatiruemoj-v-tyazhelyh-usloviyah> (дата обращения: 26.02.2021).
5. Чуян С. Н. Продление жизненного цикла деревянных шпал и стрелочных брусьев // Наука и образование – транспорту: сб. науч. статей. Секция 1, Подвижной состав железных дорог и муниципальный пассажирский транспорт. Самара, 2017. № 1. С. 76–79.

6. Анализ технологий шпалопропиточного производства ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» / В. П. Новик [и др.] // Вестник БелГУТ: наука и транспорт. 2021. № 1 (42). С. 65–67.
7. Мониторинг шпалопропиточного производства на Белорусской железной дороге / П. В. Ковтун [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 нояб. 2021 г. Гомель, 2021. С. 280–282.
8. Атапин В. В., Ершов В. В. Поперечная устойчивость бесстыкового пути при воздействии поездов // Вестник транспорта Поволжья. 2012. № 6 (36). С. 96–101.
9. Яньшин Д. С. Бесстыковой путь и пример расчета бесстыкового пути на прочность и устойчивость // Научные исследования XXI века. 2021. № 2 (10). С. 165–174.
10. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ: СТП 09150.56.010-2005. Минск: Белорусская железная дорога, 2005. 284 с.
11. Особенности измерения и содержания рельсовой колеи на железобетонных шпалах / В. И. Матвеев [и др.] // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Наука и прогресс транспорта. 2007. № 17. С. 100–106.
12. Невзорова А. Б., Романенко В. В. О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках пути // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 242–249.
13. Ромен Ю. С. Факторы, обуславливающие процессы взаимодействия в системе колесо – рельс при движении поезда в кривых // Вестник ВНИИЖТ. 2015. № 1. С. 17–26.
14. Евельсон Л. И., Хандыго В. Г. Структурирование информации о системе «колесо – рельс» с помощью технологий экспертных систем // Технические науки – от теории к практике. 2013. № 27. С. 19–24.
15. Ашпиз Е. С. Подход к расчету показателей надежности элементов пути // Мир транспорта. 2011. № 5. С. 33–41.
16. Косенко С. А., Акимов С. С. К вопросу оптимизации жесткости подрельсового основания // Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика: материалы XLI Междунар. науч.-практ. конф., Алматы, 3–4 апр. 2017 г. Алматы, 2017. С. 344–348.
17. Расчеты и проектирование железнодорожного пути / В. В. Виноградов [и др.]. М.: Маршрут, 2003. 486 с.
18. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги: СТП БЧ 56.388-2022. Минск: Белорусская железная дорога, 2022. 30 с.

References

1. Karpushchenko N. I., Velichko D. V., Bobovnikova N. A. Influence of track width and condition of rolling stock running gear on the intensity of wear in the wheel-rail system and traffic safety. *Vestnik SGUPS* [Bulletin of the Siberian State University of Railways], 2010, no. 22, pp. 91–101 (In Russian).
2. Karpushchenko N. I., Velichko D. V., Abramovsky A. M. Estimation of the state of the path in curves by dynamic indicators. *Vestnik SGUPS* [Bulletin of the Siberian State University of Railways], 2010, no. 22, pp. 43–48 (In Russian).
3. *Itogi raboty putevogo khozyaystva v 2021 godu i zadachi na 2022 god: otchet gosudarstvennogo ob'yedineniya "Belorusskaya zheleznaya doroga"* [Results of the work of the track economy in 2021 and tasks for 2022: report the State Association "Belarusian Railway"]. Minsk, Belarusian Railway Publ., 2022. 16 p. (In Russian).
4. Bozhelko I. K., Leonovich O. K. Determination of durability of protective means for wood operated in severe conditions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 200–203. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-dolgovechnosti-zaschitnyh-sredstv-dlya-drevesiny-ekspluatiruемой-v-tyazhelyh-usloviyah> (accessed 26.02.2021) (In Russian).
5. Chuyan S. N. Prolongation of the life cycle of wooden sleepers and arrow bars. *Nauka i obrazovaniye – transportu: sbornik nauchnykh statey* [Science and education for transport: collection of scientific articles]. Section 1, Railway Rolling Stock and Municipal Passenger Transport. Samara, 2017, no. 1, pp. 76–79 (In Russian).
6. Novik V. P., Sushchenok A. A., Tsarikov V. A., Kovtun P. V., Osipova O. V. Analysis of sleeper impregnation production technologies at OJSC "Borisov sleeper impregnation plant". *Vestnik BelGUT: nauka i transport* [Bulletin of the Belarusian State University of Transport: Science and Transport], 2021, no. 1 (42), pp. 65–67 (In Russian).
7. Kovtun P. V., Osipova O. V., Sushchenok A. A., Dershan V. A. Monitoring of sleeper impregnation production on the Belarusian Railway. *Problemy bezopasnosti na transporte: materialy XI Mezdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of transport safety: materials of the XI International scientific and practical conference]. Gomel, 2021, pp. 280–282 (In Russian).

8. Atapin V. V., Ershov V. V. Transverse stability of a jointless track under the influence of trains. *Vestnik transporta Povolzh'ya* [Bulletin of Transport of the Volga region], 2012, no. 6 (36), pp. 96–101 (In Russian).
9. Yanshin D. S. A jointless path and an example of calculating a jointless path for strength and stability. *Nauchnye issledovaniya XXI veka* [Scientific research of the XXI century], 2021, no. 2 (10), pp. 165–174 (In Russian).
10. STP 09150.56.010-2005. The current content of the railway track. Technical requirements and organization of work. Minsk, Belarusian Railway Publ., 2006, 284 p. (In Russian).
11. Matvetsov V. I., Kovtun P. V., Kebikov A. A., Krupoderov V. P., Miroshnikov N. Ye. Features of measurement and maintenance of rail track on reinforced concrete sleepers. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. Nauka i progress transporta* [Bulletin of the Dnepropetrovsk National University of Railway Transport. Science and Progress of Transport], 2007, no. 17, pp. 100–106 (In Russian).
12. Neuzorova A. B., Romanenko V. V. On the expediency and prospects of using wooden sleepers in curved sections of the track. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management, Processing of Renewable Resources, 2021, no. 2 (246), pp. 242–249 (In Russian).
13. Romen Yu. S. Factors determining the processes of interaction in the wheel-rail system when a train is moving in curves. *Vestnik VNIIZhT* [Bulletin of the Research Institute of Railway Transport], 2015, no. 1, pp. 17–26 (In Russian).
14. Evelson L. I., Khandygo V. G. Structuring information about the wheel-rail system using expert systems technologies. *Tekhnicheskiye nauki – ot teorii k praktike* [Technical Sciences – from Theory to Practice], 2013, no. 27, pp. 19–24 (In Russian).
15. Ashpiz E. S. An approach to the calculation of reliability indicators of path elements. *Mir transporta* [The World of Transport], 2011, no. 5, pp. 33–41 (In Russian).
16. Kosenko S. A., Akimov S. S. On the issue of optimizing the rigidity of the sub-rail base. *Innovatsionnyye tekhnologii na transporte: obrazovaniye, nauka, praktika: materialy XLI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative Technologies in Transport: Education, Science, practice: materials of the XLI international scientific and practical conference]. Almaty, 2017, pp. 344–348 (In Russian).
17. Vinogradov V. V., Nikonov A. M., Yakovleva T. G., Karpushchenko N. I., Konshin G. G., Ashpis Ye. S., Gasanov A. I., Frolovskiy Yu. K. *Raschety i proyektirovaniye zheleznodorozhnogo puti* [Calculations and design of a railway track]. Moscow, Marshrut Publ., 2003. 486 p. (In Russian).
18. STP BCh 56.388-2022. Regulations on the track management system of the Belarusian Railway. Minsk, Belarusian Railway Publ., 2022. 30 p. (In Russian).

Информация об авторах

Романенко Виктория Владимировна – старший преподаватель кафедры «Проектирование, строительство и эксплуатация транспортных объектов». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: vromanenkko@mail.ru

Невзорова Алла Брониславовна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика». Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого (246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, Республика Беларусь). E-mail: aNeuzorova@gstu.by

Information about the authors

Romanenko Viktoriya Vladimirovna – Senior Lecturer, the Department of Design, Construction and Operation of Transport Facilities. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: vromanenkko@mail.ru

Neuzorova Alla Bronislavovna – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Oil and Gas Development and Hydropneumoautomatics. Sukhoi State Technical University of Gomel (48, Okiyabrya Ave., 246746, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: aNeuzorova@gstu.by

Поступила 14.10.2022