

УДК 625.142.2

<https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-5-12>

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ, УЛОЖЕННЫХ В ПУТЬ

А. Б. НЕВЗОРОВА

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

В. В. РОМАНЕНКО

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Рассмотрена целесообразность применения остатков от переводных и мостовых брусьев для производства составных деревянных шпал без необходимости их переработки до стандартных размеров железнодорожных шпал. Получены результаты численного расчета показателей несущей способности составных деревянных шпал, уложенных в путь, удовлетворяющие нормативным требованиям предельно допустимых напряжений в балласте под шпалой и на основной поверхности земляного полотна. Приведен расчет минимальной толщины балласта под составной деревянной шпалой, подтверждающий возможность соблюдения требования при нагрузках до 15 кН, что соответствует условиям эксплуатации верхнего строения пути на путях необщего пользования и малоделятельных.

Ключевые слова: составная деревянная шпала, напряжение, балластный слой, земляное полотно.

Для цитирования. Невзорова, А. Б. Оценка несущей способности составных деревянных шпал, уложенных в путь / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2024. – № 3 (98). – С. 5–12. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-5-12>

ASSESSMENT OF THE LOAD-BEARING CAPACITY OF COMPOSITE WOODEN SLEEPERS LAID ON A TRACK

A. B. NEVZORAVA

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

V. V. ROMANENKO

Belarusian State University of Transport, Gomel

The article considers the feasibility of using transition and bridge beams waste for the production of composite wooden sleepers without the need to process them to standard sizes of railway sleepers. The results of numerical calculation of the bearing capacity of composite wooden sleepers laid in the track are obtained. These results satisfy the regulatory requirements for maximum permissible pressure in the ballast under the sleeper and on the main surface of the roadbed. The calculation of the minimum thickness of the ballast under the composite wooden sleeper is given, confirming the possibility of meeting the requirement for loads of up to 15 kN, which corresponds to the operating conditions of the track upper-structure for non-public and low-traffic tracks.

Keywords: composite wooden sleeper, pressure, ballast layer, roadbed.

For citation. Nevzorova, A. B., Romanenko V.V. Assessment of the load-bearing capacity of composite wooden sleepers laid on a track *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 3 (98), – pp. 5–12 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-3-5-12>

Введение

Основной задачей работы железнодорожного транспорта является обеспечение безопасного движения поездов как на путях общего, так и необщего пользования, что напрямую связано с состоянием верхнего строения пути. К верхнему строению пути относятся рельсы, подрельсовое основание, крепления и балласт.

Каждый из компонентов верхнего строения пути выполняет определенные функции и должен соответствовать требованиям, относящимся к типу железнодорожного пути (общего или необщего пользования), скорости движения поездов, грузопотоку, плану линии, параметрам криволинейных участков и другим факторам.

Поддержание стабильного геометрического положения рельсов, составляющих колею, во многом зависит от типа и состояния подрельсового основания. Подрельсовое основание представлено шпалами (для путей), переводными брусьями (для стрелочных переводов), а также мостовыми брусьями (для мостов с балластом). На Белорусской железной дороге (БЖД) подрельсовое основание изготавливается из дерева или железобетона. Выбор материала определяется рядом факторов и имеет свои плюсы и минусы во время эксплуатации [1].

Для БЖД все деревянные элементы производятся на ОАО «Борисовский шпало-пропиточный завод» (БШПЗ), включая пропитанные деревянные шпалы и брусья для широких и узких колеи. Для изготовления деревянных шпал приобретаются лесоматериалы в виде пиловочных бревен из ствола дерева диаметром 28–40 см и длиной не менее 5,5 м. Из такого бревна делают шпалы и переводные брусья. Стандартная длина шпалы для двухниточной колеи составляет 2750 мм, поэтому из одного бревна можно получить две шпалы, используя его полностью или с небольшим остатком. Переводные брусья, входящие в комплект для одного стрелочного перевода, имеют разные длины – от 3,0 до 5,5 м, в результате чего остаются остатки бруса максимальной длины 2,5 м, которые не могут быть использованы для производства шпал.

Учитывая количество стрелочных переводов на деревянном основании, комплекты переводных брусьев и мостовые брусья, которые производит БШПЗ, годовой объем остатков брусьев длиной менее 2,75 м – достаточно велик. С учетом растущего спроса БЖД на деревянное основание эксплуатация таких остатков брусьев для производства подрельсового основания сократит потребность в древесине, подходящей для изготовления шпал [2].

В настоящее время на Белорусской железной дороге используются цельнобрусковые деревянные шпалы, однако в целях экономии древесины активно разрабатываются конструкции составных шпал, включая и клееные. Для более рационального применения деревянных брусьев различной длины, которые остаются после распиливания переводных брусьев, предлагается рассмотреть возможность производства составных шпал без необходимости разработки технологий для создания дополнительных элементов с последующей укладкой их на путях необщего пользования и малодеятельных.

Целью данной работы является проведение численных расчетов напряжения в балласте под составной деревянной шпалой в подрельсовой зоне и на основной площадке земляного полотна в зависимости от толщины балластного слоя для проверки соответствия условиям эксплуатации верхнего строения пути на путях необщего пользования и малодеятельных.

Основная часть

Каждый вид деревянного подрельсового основания имеет свои конструктивные особенности [3–5], которые определяются сферой их применения. В зависимости от условий эксплуатации деревянные шпалы и переводные брусья разделяются на три типа, а мостовые брусья – на четыре (табл. 1–3).

Таблица 1

Размеры деревянных шпал

Тип шпалы	Толщина, мм	Высота пропиленных боковых сторон, мм	Ширина шпалы, мм			Длина, мм
			Верхней пласти, не менее		Нижней пласти	
			Пропиленной	Непропиленной		
I	180 ± 5	150	180	–	250 ± 5	2750 ± 20
II	160 + 5–4	130	160	–	230 ± 5	2750 ± 20
III	150 ± 5	105	140	190	230 ± 5	2750 ± 20

Таблица 2

Размеры деревянных переводных брусев

Тип брусев	Толщина брусев, мм	Ширина верхней пласти, мм			Ширина нижней пласти, мм	Ширина бруса по непропиленным сторонам, мм, не менее	Высота пропиленных боковых сторон, мм, не менее
		Верхней, не менее		Нижней			
		Пропиленной	Непропиленной				
I	180 ± 5	220	200	–	260 + 20–5	300	150
II	160 ± 5	220	–	175	250 + 20–5	280	130
III	160 ± 5	–	200	175	230 + 20–5	260	130

Таблица 3

Размеры деревянных мостовых брусев

Тип брусев	Размер поперечного сечения, ширина/толщина, мм	Длина, мм	Предельные отклонения от номинальных размеров, мм		
			Высота	Ширина	Длина
I	200 × 240	3250	+4 –3	±5	+10
II	220 × 260				
III	220 × 280				
IV	240 × 300				

Для обеспечения экономии стоимости шпал и сокращения необходимости внедрения дополнительных технологий требуется разработать конструктивные схемы, позволяющие осуществлять соединение без применения лишних крепежных элементов и с максимальным использованием имеющегося материала после обрезки брусев.

Увеличение размеров брусев, работающих в горизонтальном положении, называется сращиванием. При этом брусья соединяются торцевыми стыками, отрезанными либо под прямым углом, либо под углом. В месте соединения концы брусев могут налегать друг на друга и смыкаться различными способами крепления, такими, как гвозди или шурупы, при этом в узле сращивания возможно образование замка [6]. Одним из наиболее прочных видов соединений без использования дополнительных элементов крепления является сращивание впритык сквозным сквороднем типа «ласточкин хвост». В этом случае шип и паз образуют надежный замок, предотвращающий разъезжание частей (рис. 1).

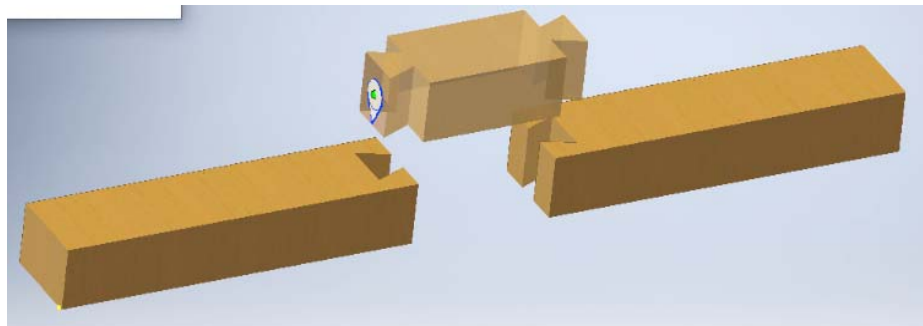


Рис. 1. Конструктивная схема составной шпалы с соединением «ласточкин хвост»

Сравнение размеров аналогичных элементов, представленных в табл. 1–3, показывает, что остатки от производства мостовых брусьев имеют максимальные размеры, превышающие размер поперечного сечения шпал. Аналогичная ситуация также наблюдается и с остатками переводных брусьев. Следовательно, целесообразно рассмотреть возможность использования этих остатков без изменения их размеров, которые образуются в ходе изготовления переводных или мостовых брусьев с различными поперечными сечениями.

При движении поездов возникают различные напряжения, которые передаются от рельсов на балласт, а затем на основание земляного полотна:

- в рельсах (зависит от типа и величины износа рельса);
- под подкладкой на смятие в деревянных шпалах либо в подкладках или прокладках (зависит от типа промежуточного скрепления);
- в балласте под шпалой в подрельсовой зоне σ_6 (зависит от типа шпалы);
- на основной площадке земляного полотна исходя из толщины балластного слоя σ_h (зависит от напряжений на расчетной шпале, на соседней шпале – справа и на соседней шпале – слева соответственно).

Расчеты прочности железнодорожного пути определяют допустимые напряжения (например, $[\sigma_6]$ и $[\sigma_h]$), что является критерием надежности конструкции. Напряжения в балласте под шпалой, а следовательно, и на основной площадке земляного полотна имеют зависимость от типа шпалы, т. е. от размеров поперечного сечения, увеличение которых приведет, в свою очередь, к росту напряжений. Необходимо проверить соответствие этих напряжений допускаемым значениям и определить возможные условия эксплуатации при выявлении ограничений.

Составные деревянные шпалы предполагается применять на путях необщего пользования и малодейственных станционных, где может использоваться не только щебеночный балласт (обязательное условие для главных и приемо-отправочных путей).

Качество балласта оказывает значительное влияние на устойчивость всей конструкции, поэтому допускаемые напряжения в балласте под шпалой определяются в зависимости от его рода, например, для таких строительных материалов, как:

- щебень 25–60 мм – 0,5 МПа;
- щебень мелкий и сортированный гравий – 0,4 МПа;
- карьерный гравий – 0,3 МПа;
- песок крупный и средней крупности – 0,275 МПа;
- песок мелкозернистый – 0,2 МПа.

Расчет по определению наибольших напряжений, возникающих под полупшпалой на уровне нижней постели в балласте, выполняется в зависимости от величины давления на шпалу от подвижного состава, передаваемого через рельс:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{Q_{\max}}{\alpha l_{\text{шп}} b_{\text{шп}}}, \tag{1}$$

где Q_{\max} – вертикальная нагрузка на шпалу (ГОСТ 55050–202), кН; α – коэффициент, учитывающий изгиб шпалы и представляющий отношение средней (по длине) осадки шпалы к ее осадке под рельсами (для деревянных шпал с шагом 750 мм $\alpha = 0,7-0,75$); $l_{\text{шп}}$ – длина шпалы, м; $b_{\text{шп}}$ – ширина нижней постели шпалы, м.

Нагрузка от подвижного состава на конструкцию верхнего строения пути зависит от вида подвижного состава и скорости движения поезда. Для определения условий возможности применения остатков брусьев без изменения размеров поперечного сечения в расчете напряжения исследовалась величина нагрузки от 5 до 100 кН с шагом 5 кН.

Расчет напряжений сделан для всех типов переводных и мостовых брусьев (табл. 4 и 5) и всех видов балласта.

Таблица 4

Анализ напряжений под составной шпалой из остатков переводных брусьев

Тип	Род балласта	Вертикальное давление на шпалу, кН																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
I	Щебень																				
	Щебень мелкий																				
	Карьерный гравий																				
	Песок крупный																				
	Песок мелкозернистый																				
II	Щебень																				
	Щебень мелкий																				
	Карьерный гравий																				
	Песок крупный																				
	Песок мелкозернистый																				
III	Щебень																				
	Щебень мелкий																				
	Карьерный гравий																				
	Песок крупный																				
	Песок мелкозернистый																				





Условные обозначения:  – нагрузка подвижного состава, при которой обеспечивается $[\sigma_{\sigma}]$, под шпалой из остатков переводных брусьев;  – максимальная нагрузка подвижного состава, при которой обеспечивается $[\sigma_{\sigma}]$, под шпалой.

Таблица 5

Анализ напряжений под составной шпалой из остатков мостовых брусьев

Тип	Род балласта	Вертикальное давление на шпалу, кН																			
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
I	Щебень																				
	Щебень мелкий																				
	Карьерный гравий																				
	Песок крупный																				
	Песок мелкозернистый																				
II	Щебень																				
	Щебень мелкий																				
	Карьерный гравий																				
	Песок крупный																				
	Песок мелкозернистый																				
III	Щебень																				
	Щебень мелкий																				
	Карьерный гравий																				
	Песок крупный																				
	Песок мелкозернистый																				
IV	Щебень																				
	Щебень мелкий																				
	Карьерный гравий																				
	Песок крупный																				
	Песок мелкозернистый																				

Условные обозначения:  – нагрузка подвижного состава, при которой обеспечивается $[\sigma_6]$, под шпалой из остатков мостовых брусьев;  – максимальная нагрузка подвижного состава, при которой обеспечивается $[\sigma_6]$, под шпалой.

На величину напряжения на основной площадке земляного полотна кроме давления от верхнего строения пути оказывает влияние толщина балласта. Излишняя толщина балласта приведет к превышению допускаемого напряжения, и как следствие, – к преждевременному разрушению основной площадки земляного полотна.

Так как размеры поперечного сечения остатков от переводных и мостовых брусьев превышают установленные размеры шпал, необходимо провести исследование минимальной толщины балласта под шпалой, величина которой зависит от величины напряжения σ_6 (табл. 4 и 5) и допускаемого напряжения на основную площадку земляного полотна $\sigma_{3.п}$:

$$h \geq \sqrt{\left(2 \frac{\sigma_6}{[\sigma_{3.п}]} - 1\right) bl}, \quad (2)$$

где h – толщина балласта под шпалой, м; σ_6 – расчетное напряжение под элементом составной шпалы на уровне нижней постели в балласте; $[\sigma_{3.п}]$ – допускаемое напряжение в земляном полотне (принимается для локомотива – 0,12–0,15 МПа; для вагонов – 0,08–0,1 МПа); b – ширина нижней постели шпалы; l – расстояние между осями соседних шпал.

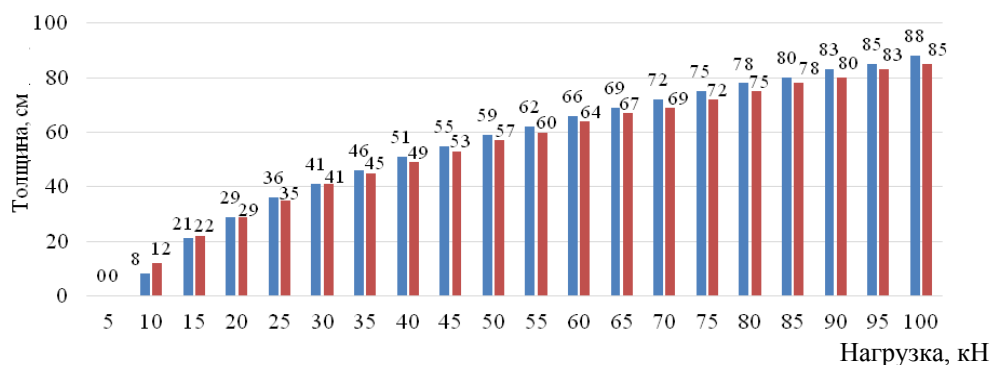


Рис. 2. Минимальная толщина балласта под составной шпалой:

- – под составной шпалой из остатков переводных брусьев;
- – под составной шпалой из остатков мостовых брусьев

Расчеты выполнены для нагрузки от подвижного состава от 5 до 100 кН с шагом 5 кН. Полученные результаты (рис. 2.) дают возможность установить минимально допустимую толщину балласта под составной деревянной шпалой в зависимости от величины напряжения на основную площадку земляного полотна, предотвращающую разрушение основной площадки земляного полотна.

Заключение

Производство составных деревянных шпал для нужд БЖД позволит значительно сократить расход древесины, необходимой для создания подрельсового основания. Шпалы таких конструкций могут быть изготовлены из остаточных брусков, размеры которых не соответствуют стандартам железнодорожных шпал. Приведение этих остатков к требуемым размерам увеличит затраты на производство, что, в свою очередь, повысит цену конечного продукта.

Исследования свидетельствуют о том, что при незначительных нагрузках от подвижного состава, которые характерны для путей необщего пользования и малодеятельных путей, допустимо использование остатков от переводных и мостовых брусьев без их переработки, так как это обеспечивает соблюдение предельно допустимых напряжений в балласте под шпалой и на основной поверхности земляного полотна.

Анализ напряжений под составной шпалой из остатков переводных и мостовых брусьев показывает, что при нагрузках до 30 кН напряжения в балласте остаются в пределах нормы для всех типов балласта, включая те, что применяются исключительно на путях необщего пользования с низкими требованиями к прочности. Согласно [7], для железнодорожных путей 5-го класса минимальная толщина балласта всех типов должна составлять 20 см. Расчет минимальной толщины балласта под составной шпалой подтверждает возможность соблюдения этого требования при нагрузках до 15 кН, что соответствует условиям эксплуатации верхнего строения пути на путях необщего пользования и малодеятельных (5-й класс).

Работа выполнена в рамках отдельного проекта научно-исследовательских работ Министерства образования Республики Беларусь на 2023–2024 гг. (номер государственной регистрации 20231587 от 17.10.2023 г. Тема «Научное обоснование ресурсосберегающей технологии изготовления и применения составных деревянных шпал»).

Литература

1. Невзорова, А. Б. О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках пути / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Тр. БГТУ. Сер. 1, Лес. хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 2 (246). – С. 242–249.

2. Романенко, В. В. Оценка проектных решений по изготовлению составных деревянных шпал / В. В. Романенко, П. В. Ковтун, А. О. Власенко // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 нояб. 2023 г. : в 2 ч. / Беларус. ж. д., Беларус. гос. ун-т транспорта ; под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель, 2023. – С. 417–419.
3. Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Общие технические условия : ГОСТ 78–2014. – Введ. 01.03.16. – Минск : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 18 с.
4. Брусья деревянные для стрелочных переводов. Технические условия : ГОСТ 8816–2014. – Введ. 22.06.14. – М. : Стандартиформ, 2014. – 15 с.
5. Брусья мостовые деревянные. Технические условия : ГОСТ 8816–2014. – Введ. 25.06.14. – М. : Стандартиформ, 2014. – 12 с.
6. Невзорова, А. Б. Имитационное моделирование несущей способности составной деревянной шпалы с учетом поездной нагрузки / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2024. – № 1 (96). – С. 72–81.
7. Положение о системе ведения путевого хозяйства : СТП БЧ 56.388–2022 : утв. приказом зам. начальника Беларус. ж. д. 14.05.22 № 370 НЗ : введ. 22.06.22. – Минск : Беларус. ж. д., 2022. – 35 с.

Referens

1. Nevzorova A. B., Romanenko V. V. On the expediency and prospects of using wooden sleepers in curved sections of the path. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 1, Lesnoe hozjajstvo*, 2021, no. 2 (246), pp. 242–249 (in Russian).
2. Romanenko V. V., Kovtun P. V., Vlasenko A. O. Evaluation of design solutions for the manufacture of composite wooden sleepers. *Innovacionnoe razvitie transportnogo i stroitel'nogo kompleksov: materialy mezhduнародной nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashennoj 70-letiyu BelIIZhTa – BelGUTa, Gomel, 16–17 noyabrya 2023 g.* [Innovative development of transport and construction complexes: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of BelIIZHTa – BELGUT, Gomel, November 16–17, 2023]. Gomel, Belorusskii gosudarstvennyi universitet transporta, 2023, pp. 417–419 (in Russian).
3. GOST 78–2014. *Wooden sleepers for broad gauge railways. General technical conditions*. State Committee for Standardization Rep. Belarus Publ., 2016. 18 p. (in Russian).
4. GOST 8816–2014. *Wooden bars for switches. Technical specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 15 p. (in Russian).
5. GOST 8816–2014. *Wooden bridge beams. Technical specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p. (in Russian).
6. Nevzorova A. B., Romanenko V. V. Simulation modeling of the bearing capacity of a composite wooden sleeper taking into account the train load. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Suhogo*, 2024, no. 1 (96), pp. 72–81 (in Russian).
7. STP BCH 56.388–2022 *Regulations on the travel management system*. Minsk, Belarusian Railway Publ., 2022. 35 p. (in Russian).