

## ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 625.143.46

В. И. ИНЮТИН, кандидат технических наук, В. Е. МИРОШНИКОВ, ассистент, Д. В. ПИЩИК, инженер, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

### ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПУТЕВЫХ ПРОКЛАДОК НА МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ПУТИ И ИЗНОС ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ И БРУСЬЕВ

Рассмотрена возможность применения путевых прокладок из композиционных материалов, снижающих механический износ деревянных шпал и брусьев стрелочных переводов. Определена зависимость модуля упругости пути от жесткости прокладок. Измерение износа шпал с прокладками и без прокладок показывает, что применение прокладок снижает интенсивность износа шпал в 1,8–2,7 раза. Прокладки из композиционного материала позволяют увеличить площадь передачи давления на шпалы на 10 % больше, чем резиновые, что способствует уменьшению давления на них и снижению износа. Приведены данные о количестве уложенных комплектов прокладок на стрелочных переводах и экономический эффект от их укладки в 19 дистанциях пути Белорусской железной дороги.

**Б**езопасность движения поездов и затраты на ремонт и содержание пути в значительной мере зависят от прочности и долговечности деревянных шпал и брусьев стрелочных переводов. Наиболее эффективно для снижения их механического износа использовать путевые прокладки, для изготовления которых широко применяются композиционные материалы и резина [1]. На интенсивность износа шпал под подкладками существенно влияет их жесткость. Исследование этого влияния на модуль упругости пути и интенсивность износа шпал является важной задачей продления срока службы деревянных шпал и брусьев.

Испытания прокладок на статическую жесткость в научно-исследовательской лаборатории «Путь» проведены на универсальной испытательной машине УММ-50 с применением специального приспособления, состоящего из нижней плиты с укрепленными на ней четырьмя индикаторами часового типа и верхней жесткой плиты-прижима (рисунок 1).

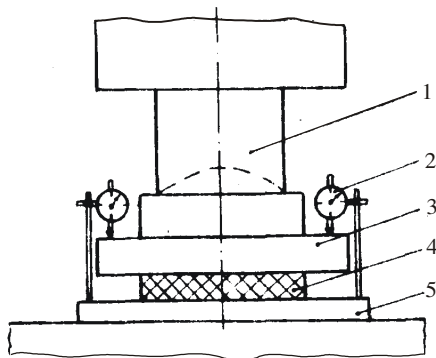


Рисунок 1 – Схема испытаний прокладок на упругие характеристики:

- 1 – неподвижная траверса испытательной машины с шаровой опорой;
- 2 – индикатор часового типа;
- 3 – верхняя плита-прижим;
- 4 – испытываемая прокладка или образец;
- 5 – нижняя плита с укрепленными стойками для индикаторов

Суть использованного метода состоит в определении упругих деформаций прокладок в принятых интервалах нагрузок. В соответствии с рекомендациями ВНИИЖТа за интервал нагрузок принимается 20 кН на прокладку, что соответствует приращению удельного давления на прокладку для рельсов Р65 на 0,3 МПа.

Жесткость прокладок определена как отношение приращения нагрузки к приращению деформации в определенных интервалах по формуле [2]

$$Ж_{пр} = \frac{\Delta P}{\Delta h}, \quad (1)$$

где  $Ж_{пр}$  – жесткость прокладок, кН/м;  $\Delta P$  – приращение нагрузки, кН;  $\Delta h$  – приращение деформаций по результатам испытаний, м.

Модуль упругости прокладок, выраженный как распределенная жесткость подрельсового основания пути

$$U_{пр} = \frac{Ж_{пр}}{l} = \frac{\Delta P}{l \Delta h}, \quad (2)$$

Испытания на жесткость проводились для прокладок, изготовленных из композиционного материала на основе отходов от регенерации автомобильных покрышек (ОРАП) и резины [2]. Определение жесткости прокладок сведено в таблицу 1, из которой видно, что жесткость прокладок и модуль их упругости с увеличением нагрузки увеличиваются. Анализ результатов расчетов показал, что наименьшая распределенная жесткость получена у прокладок из резины (296 МПа), а наибольшая – у прокладок из ОРАП (343 МПа). Применение амортизирующих нащпальных прокладок на деревянных шпалах способствует уменьшению жесткости пути в целом и снижению динамической силы давления на шпалы.

Таблица 1 – Расчет жесткости прокладок

Материал прокладок	$Q_m$ , кН	$\sigma_m$ , МПа	$P$ , кН	Деформация $h$ , мм	Приращение деформаций $\Delta h$ , мм	Жесткость в интервале нагрузки $J_{пр}$ , кН/м	Распределенная жесткость, МПа	
							$U_{пр}$	$U_{пр}^{2-6}$
ОРАП	3,3	0,05	1,0	0,000	–	–	–	343
	20	0,3	6,5	0,116	0,116	56030	101,9	
	40	0,6	13,0	0,152	0,036	180560	328,2	
	60	0,9	19,5	0,185	0,033	196970	358,1	
	80	1,2	26,0	0,216	0,031	209680	381,2	
Резина	3,3	0,05	1,0	0,000	–	–	–	296
	20	0,3	6,5	0,059	0,059	110170	200,3	
	40	0,6	13,0	0,101	0,042	154760	281,4	
	60	0,9	19,5	0,139	0,038	171050	311,0	
	80	1,2	26,0	0,172	0,033	196970	358,1	

*Примечание* –  $Q_m$  – давление на шпалу;  $\sigma_m$  – удельные давления на шпалу;  $P$  – нагрузка испытательной машины;  $U_{пр}$  – распределенная жесткость (модуль упругости) прокладок в интервалах приращения нагрузок и деформаций;  $U_{пр}^{2-6}$  – распределенная жесткость (модуль упругости) прокладок в интервалах нагрузок от 20 до 60 кН.

Модуль упругости пути при наличии прокладок может быть определен из зависимости [3]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_0} + \frac{1}{U_{пр}}, \quad (3)$$

где  $U$  – модуль упругости пути при наличии прокладок, МПа;  $U_0$  – модуль упругости пути без прокладок, МПа;  $U_{пр}$  – модуль упругости (распределенная жесткость) прокладок, МПа.

После преобразования формулы (3) получаем:

$$U = U_0 \frac{U_{пр}}{U_0 + U_{пр}}. \quad (4)$$

Значения модуля упругости пути при наличии прокладок были вычислены при разных величинах жесткости прокладок. Зависимость модуля упругости пути с прокладками от распределенной жесткости прокладок показана на рисунке 2, из которого видно, что модуль упругости пути уменьшается с 26 до 18 МПа. Для любого значения распределенной жесткости прокладок графически по рисунку 2 можно легко определить величину модуля упругости пути. Так, при распределенной жесткости прокладок из ОРАП  $U_{пр} = 343$  МПа модуль упругости пути  $U = 24,2$  МПа.

При уменьшении модуля упругости пути снижается коэффициент относительной жесткости рельсов и подрельсового основания и вместе с этим и динамическая сила давления на шпалы.

Для сопоставления влияния различных прокладок на величину давления на шпалы принят метод единичной силы, равной  $P_1$ . Расчет сводится к определению коэффициента относительной жесткости рельса и подрельсового основания, давления на шпалы от единичной силы, средних удельных давлений на шпалы под подкладками и прокладками, соотношения интенсивности износа шпал с прокладками и без прокладок [3, 4].

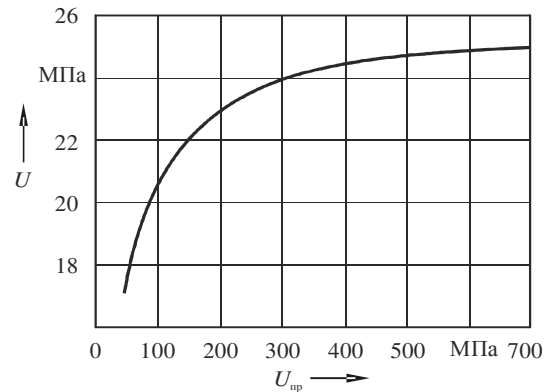


Рисунок 2 – Зависимость модуля упругости пути от распределенной жесткости прокладок

Коэффициент относительной жесткости рельса и подрельсового основания [2]

$$k = \sqrt[4]{\frac{U}{4EI_x}}, \quad (5)$$

где  $U$  – модуль упругости пути при наличии прокладок, МПа;  $E$  – модуль упругости рельсовой стали,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа;  $I_x$  – момент инерции рельса типа Р65,  $I_x = 3548 \cdot 10^{-8}$  м<sup>4</sup>.

Величина давления на шпалы от единичной силы

$$Q_1 = \frac{1}{2} k l P_1, \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент относительной жесткости рельса и подрельсового основания, м<sup>-1</sup>;  $l$  – расстояние между осями шпал, м;  $P_1$  – единичная сила, равная 1 Н.

Средние удельные давления на шпалы от единичной силы определяют с учетом площади передачи давления:

$$\sigma_{ср} = \frac{Q_1}{\omega}, \quad (7)$$

где  $\omega$  – площадь передачи давления на шпалы, м<sup>2</sup>.

Размеры прокладок из ОРАП приняты больше размеров металлической подкладки на 10–15 мм, что увеличивает площадь передачи давления на

шпалу. Прокладки из резины не могут распространять давление на площадь большую, чем металлические подкладки, вследствие их гибкости. Измерения в пути показали, что площадь износа шпал под прокладками из резины оказалась такой же, как и без прокладок.

Эксплуатационными испытаниями установлено, что интенсивность износа шпал пропорциональна относительному коэффициенту износа шпал и квадрату среднего удельного давления на шпалы. Для установления соотношения интенсивности износа шпал при наличии прокладок были определены относительные коэффициенты износа шпал с прокладками

$$j = \frac{(\sigma_{ш}^i)^2}{(\sigma_{ш}^0)^2}, \quad (8)$$

где  $\sigma_{ш}^i$  – средние удельные давления на шпалы при наличии прокладок, Па;  $\sigma_{ш}^0$  – удельные давления на шпалы без прокладок, Па.

Измерение износа деревянных шпал при наличии прокладок и без прокладок производилось после снятия и разборки путевой решетки на звеносборочных базах, а также в процессе их эксплуатации с расшивкой и снятием подкладок и прокладок. Работы по измерению износа шпал выполнялись работниками научно-исследовательской лаборатории «Путь». Для этого были применены приборы лаборатории БелГУТа, которые позволяют производить измерения по продольной оси шпалы без снятия рельсов одновременно в четырех точках с точностью 0,1 мм – под концами подкладок и под краями подошвы рельсов. По результатам измерений подсчитывались средние значения в каждой точке, осредненные по площади значения износа на каждом конце шпалы и средние значения всех измерений.

Определение интенсивности износа шпал и прокладок приведено в таблице 2, из которой видно, что интенсивность износа деревянных шпал при наличии прокладок в 1,8–2,7 раза меньше, чем без прокладок. При этом интенсивность износа деревянных шпал возрастает по мере снижения мощности пути. Так, например, при рельсах Р65 интенсивность износа деревянных шпал возрастает в 2,5 раза, а при рельсах типа Р50 – в 5,5 раза больше, чем при рельсах Р75, по которым к тому же пропущен тоннаж в 2,5–3 раза больший, чем по рельсам типа Р65 и Р50. При этом износ прокладок отмечается только со стороны металлических подкладок, т. е. истирание их происходит при вибрации (упругих перемещениях) прокладок. После устранения вибрации прокладок путем их прибивания гвоздями или приклеивания к поверхности шпалы износа шпал не наблюдается.

Таблица 2 – Интенсивности износа шпал и прокладок

Тип рельса	Количество измерений, шт.	Средний износ шпал, мм	Интенсивность износа шпал, мм / 100 млн т, брутто	Интенсивность износа прокладок, мм / 100 млн т, брутто
Р75	532	9,0	0,65	0,0019
	1420	5,2	0,38	
Р65	870	13,1	2,34	0,0045
	835	5,0	0,90	
Р50	420	16,6	3,86	0,0103
	360	8,9	2,06	

*Примечание* – В числителе приведены показатели для пути без прокладок, в знаменателе – для пути с прокладками из ОРАП.

Измерение толщины прокладок из ОРАП после пропуска по рельсам типа Р65 560 млн т брутто показало, что их средняя толщина оказалась равной 7 мм, причем в средней части толщина прокладок больше на 1 мм, чем по концам. При средней толщине прокладок 9–9,5 мм средний износ составил 2–2,5 мм, а интенсивность износа – 0,0045 мм / млн т брутто. После пропуска по рельсам типа Р75 1397 млн т брутто интенсивность износа прокладок составила 0,0019 мм / 100 млн т брутто. Это показывает, что интенсивность износа прокладок и древесины шпал с увеличением жесткости и погонного веса рельсов уменьшается. Кроме того, более 30 % прокладок из ОРАП после пропуска 1397 млн т брутто имеют хорошее состояние и по условиям прочности могут быть использованы для повторной укладки на малодеятельных путях.

С целью изучения влияния прокладок на размеры углублений в шпалах в плане были измерены эти углубления на шпалах с прокладками и контрольных шпалах без прокладок. Средние результаты измерений показывают, что при резиновых прокладках площадь износа шпал получается такой же, как и без прокладок (640 см<sup>2</sup>), а с прокладками из ОРАП площадь износа соответствует размерам прокладок и составляет 708–720 см<sup>2</sup>, что на 10 % больше, чем без прокладок. Все это свидетельствует о том, что прокладки из ОРАП способствуют более равномерной передаче давления на шпалы. За счет большей площади снижается средний уровень давлений на шпалы и уменьшается интенсивность их износа. Резиновые прокладки, как показывают результаты измерений, вследствие их гибкости не могут распространять давление на большую площадь.

С целью защиты деревянных брусев от механического износа используются комплекты прокладок, для которых разработан композиционный материал на основе отходов обувного производства (ООП) [5–7]. Проведенные эксплуатационные испытания прокладок из ООП, уложенных на деревянные шпалы с рельсами типа Р65, показали, что интенсивность их изнашивания составляет 0,0036 мм / 100 млн т брутто, что в 1,25 раза меньше, чем у прокладок из ОРАП.

Комплект прокладок из ООП для стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 состоит из 217 прокладок 6 типоразмеров общим весом 170 кг: I типа размером 370×175 мм – 120 шт., II – 510×200 мм – 21, III – 600×200 мм – 10, IV – 660×200 мм – 20, V – 740×200 мм – 42, VI – 900×200 мм – 10 шт.

Годовой экономической эффект от применения комплектов прокладок на брусьях стрелочного перевода [8, 9]

$$\Xi = \left[ 3_1 \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{\rho_1 + E_n}{\rho_2 + E_n} + \frac{U_1 - U_2}{\rho_2 + E_n} - 3_2 \right] A, \quad (9)$$

где  $3_1, 3_2$  – приведенные затраты на производство единицы базовой и новой техники, руб.;  $B_1, B_2$  – годовые объемы продукции, производимой при использовании единицы базового и нового средства труда, в натуральных единицах;  $\rho_1, \rho_2$  – нормы ежегодных отчислений от базовой стоимости на

полное восстановление базового и нового средства труда;  $U_1, U_2$  – годовые эксплуатационные издержки потребителя;  $E_n$  – нормативный коэффициент капитальных вложений,  $E_n = 0,15$ ;  $A$  – объем производства новых средств в расчетном году, в натуральных единицах.

В таблице 3 представлены данные о количестве уложенных комплектов прокладок из ООП на стрелочных переводах типа Р65 марки 1/11, а также экономический эффект в 19 дистанциях пути Белорусской железной дороги за период 1998–2008 гг.

Из расчетов видно, что от продления срока службы деревянных брусьев с 12 до 18 лет эффективность применения комплекта прокладок для предотвращения механического износа возрастает с 662,3 тыс. руб. до 3841,6 тыс. руб. При расчете эффективности укладки комплектов прокладок принимается минимальный срок службы деревянных брусьев стрелочных переводов 16 лет.

Таблица 3 – Экономическая эффективность применения комплектов прокладок за 1998–2008 гг.

Дистанция пути	Количество комплектов прокладок по годам												Экономический эффект по дистанциям пути, млн руб.
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Итого, шт.	
Барановичская	35	–	–	–	–	3	10	7	6	6	–	66	196,0
Бобруйская	5	3	5	–	–	–	–	–	2	–	–	15	44,6
Борисовская	35	5	9	20	10	4	12	18	18	22	17	170	504,9
Брестская	25	15	–	–	–	15	–	–	–	–	–	55	163,4
Воропаевская	20	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–	22	65,3
Витебская	8	5	5	–	5	9	–	5	11	–	5	59	175,2
Волковысская	–	14	6	2	–	–	–	–	–	–	–	22	65,3
Гомельская	36	10	9	9	17	8	26	22	13	10	114	310	920,7
Жлобинская	45	6	3	–	10	11	9	9	15	2	–	110	326,7
Калинковичская	4	5	5	5	8	–	4	7	8	–	–	46	136,6
Кричевская	7	11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18	53,5
Лидская	–	–	3	–	–	14	–	–	1	–	–	18	53,5
Лунинецкая	12	7	2	–	–	–	–	–	5	–	–	26	77,2
Минская	25	–	10	15	25	3	12	7	11	6	8	125	371,3
Могилевская	10	20	12	20	–	10	40	19	37	–	33	214	635,6
Молодечненская	34	10	5	36	5	5	4	7	–	–	–	106	314,8
Оршанская	16	17	30	15	13	12	6	6	6	–	–	121	359,4
Осиповичская	10	5	15	5	–	4	–	8	12	–	3	62	184,1
Полоцкая	5	10	5	8	8	7	13	7	3	–	–	66	196,0
Итого, шт	332	143	124	135	101	105	138	122	148	104	180	1632	4844,1
Экономический эффект по годам, млн руб.	986,0	424,7	368,3	401,0	300,0	317,8	409,9	362,3	439,6	308,9	534,6		

Из таблицы 3 видно, что наибольшее количество комплектов прокладок для стрелочных переводов уложено в дистанциях пути: Борисовской – 170, Могилевской – 214 и Гомельской – 310 шт. Эффективность применения прокладок для предотвращения механического износа соответственно составила 504,9, 635,6 и 920,7 млн руб. Амортизирующие прокладки способствуют также стабилизации ширины колеи и уровня рельсовых нитей, что позволяет снизить затраты на текущее содержание стрелочных переводов. Кроме того, укладка амортизирующих

прокладок на деревянные брусья стрелочных переводов повышает надежность и долговечность работы металлических частей стрелочных переводов.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1 Применение прокладок из композиционных материалов и резины способствует уменьшению интенсивности износа деревянных шпал и продлению срока службы их на 6–8 лет.

2 Наибольший эффект уменьшения интенсивности износа деревянных шпал достигается за

счет увеличения площади передачи давления на шпалы при применении прокладок из ОРАП с распределенной жесткостью 200–400 МПа.

3 Размеры прокладок, увеличивающих площадь передачи давлений на шпалы, должны быть больше размеров металлических подкладок в оптимальных пределах, зависящих от изгибной жесткости их.

4 Увеличение модуля упругости прокладок более 400 МПа мало влияет на изменение модуля упругости пути и снижение динамического давления на шпалы.

5 Эффективность использования прокладок с модулем упругости менее 200 МПа достигается за счет снижения динамического давления на шпалы при уменьшении модуля упругости пути до 18–23 МПа.

#### Список литературы

- 1 **Леткова, А. А.** Прокладки для скреплений / А. А. Леткова // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 5. – С. 15–18.
- 2 Расчеты и проектирование железнодорожного пути : учеб. пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта / под ред. В. В. Виноградова и А. М. Никонова. – М. : Маршрут, 2003. – 486 с.
- 3 **Инютин, В. И.** Эффективность применения путевых прокладок из отходов производств / В. И. Инютин, С. А. Ва-

щенко, В. И. Матвеев // Материалы 54-й Междунар. науч.-техн. конф. «Вклад вузовской науки в развитие приоритетных направлений производственно-хозяйственной деятельности». Ч. 1. – Минск : БГПА, 2000. – С. 69.

4 Железнодорожный путь : учеб. для студентов ж.-д. вузов / под ред. Т. Г. Яковлевой. – 2-е изд., с изм. и доп. – М. : Транспорт, 2001. – 407 с.

5 **Инютин, В. И.** Оптимизация состава композиционного материала для путевых прокладок / В. И. Инютин, А. В. Инютин // Вестник Сибирского гос. ун-та путей сообщения. Вып. 8. – Новосибирск, 2004. – С. 83–84.

6 Композиционный материал из отходов кожевенного производства для наспальных прокладок / В. И. Инютин [и др.] // Пластические массы. – № 10. – 2005. – С. 44–46.

7 **Инютин, В. И.** Переработка промышленных отходов в путевые прокладки / В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, Д. В. Пищик // Экологическая безопасность и ресурсосбережение : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2008. – С. 37.

8 **Инютин, В. И.** Экономическая эффективность прокладок и торцевых пластин на деревянных брусках стрелочных переводов / В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, Д. А. Семенчук // 66-я Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2006. – С. 42.

9 **Инютин, В. И.** Экономическая эффективность применения комплектов прокладок на стрелочных переводах / В. И. Инютин, В. Е. Мирошников, Д. В. Пищик // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2008. – С. 128.

Получено 08.02.2010

**V. I. Inyutin, V. E. Miroshnikov, D. V. Pishhik.** The influence of rigidity of track liners on track elasticity factor and wear wooden sleepers and beams.

The problems of using tie plates to reduce mechanical wear of wooden sleepers and switch bars have been investigated. Dependence between value of track elasticity and plates rigidity is determined. Measurements of sleepers wear with and without plates show that the rate of sleepers wear with plates is 1,8 to 2,7 times less. Plates made of composite material allow to increase the area of transmitting pressure on sleepers by 10 % compared to rubber ones. That reduces pressure and decreases sleepers wear. Data on quantity of plate sets used at switches at 19 divisions of Belarus railway as well as on economic effect of the same are published.