

## ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 625.142.21

*В. И. ИНЮТИН, кандидат технических наук; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

### КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ НАШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ШПАЛЫ

На основании результатов исследований износостойкости и прочности при растяжении композиционного материала оптимизирован его состав для наспальных прокладок на железобетонные шпалы.

**Н**аиболее распространенным рельсовым креплением для железобетонных шпал является раздельное клеммно-болтовое крепление КБ с жесткими клеммами. Как известно, в первую очередь в креплении КБ разрушается наспальная резиновая прокладка в зоне выкружки подрельсовой площадки. Вслед за этим металлическая подкладка смещается до контакта с бетоном, вызывая его выкрашивание [1].

Кроме того, использование в креплении КБ резиновых прокладок общей толщиной 17 мм, которые слабо сопротивляются горизонтальному перемещению рельсов относительно шпал, приводит к существенному ослаблению затяжки гаек клеммных и закладных болтов. Для увеличения погонного сопротивления необходимо в 2–3 раза уменьшить толщину резиновых наспальных прокладок. Под подошву рельса следует укладывать прокладки толщиной 4–5 мм из гомбелита, которые широко применялись в 60–70-е годы XX в. и показали хорошие результаты. При этом не было зафиксировано случаев выхода из строя рельсов по дефекту 69 и продольных остаточных перемещений рельсов относительно шпал [2].

Разработан композиционный материал для изготовления путевых прокладок на деревянные шпалы и брусья стрелочных переводов на основе вторичного полиэтилена, в котором в качестве наполнителя использованы отходы кожевенно-обувного производства [3, 4]. Ежегодно из него выпускается более 50 тыс. наспальных прокладок Д-65 и 100 комплектов прокладок для брусьев стрелочных переводов типа Р-65 марки 1/11, которые укладываются на деревянные шпалы и брусья стрелочных переводов, собираемых на Белорусской железной дороге.

Весьма важным является повышение износостойкости и демпфирующих свойств существующего материала с целью его использования для изготовления наспальных прокладок на рельсо-

вые крепления КБ. Повышение прочности полимерной матрицы и стабильности свойств изделий достигали путем введения в полиэтилен этиленгликоля кадмия. При прессовании в объеме полимерной матрицы формируется трехмерная минерально-органическая сетка из продуктов взаимодействия гидроокиси кадмия и этиленгликоля, снижающая деформации и увеличивающая прочность и износостойкость композиции. При прессовании материал подвергается термической и окислительной деструкции. Для снижения термоокислительной деструкции полиэтилена в полимерную композицию вводили диметилдитиокарбомат цинка. Указанное вещество химически активно и взаимодействует с радикалами, образующимися при термическом распаде макромолекул полиэтилена.

Технология переработки отходов кожевенно-обувных производств в композиционный материал включает следующие стадии: сбор исходного сырья; измельчение исходных компонентов до требуемой фракции; смешивание компонентов в определенной пропорции в смесителе; дозирование полученной пресс-массы в пресс-формы, горячее охлаждение отпрессованных деталей в пресс-форме под давлением; обработка изготовленных деталей от облоя; повторное использование облоя в техническом цикле, начиная с операции дозирования перед прессованием. Повторное использование облоя делает процесс получения прокладок безотходным. Кроме того, наличие жира в кожевенных отходах позволяет отказаться от применения дорогостоящих силиконовых смазок, используемых для смазки пресс-форм перед прессованием для предотвращения прилипания отпрессованных прокладок к пресс-формам. Процесс измельчения обрезки юфти, кожи хромовой и микропористой резины производился на модернизированном роторном измельчителе ИПР-300, в котором используются сепарационные решетки с диаметром отверстий 2,8 и 4,0 мм, что позволяет полу-

чать фракцию измельченного материала соответственно в пределах 0,2–1,2 мм и 1,2–2,5 мм. Используются также отходы микропористой резины, образующиеся при шлифовке подошв обуви и скапливающиеся в пылеулавливающих циклонах. В качестве связующего использовали вторичный полиэтилен, полученный путем измельчения на роторном измельчителе ИПР-300 тарных мешков, пленки и ленты. Смешивание предварительно измельченных компонентов производили в смесителе ОЦК-4, в котором однородная масса получается после 15–20 минут смешивания. Режим переработки материала: температура пресс-форм 140–150 °С, время горячего прессования 1,0 мин на один миллиметр толщины образца, давление прессования – 10 МПа; охлаждение образца под давлением до температуры 40–50 °С.

В результате проведенных исследований разработан композиционный материал на основе вторичного полиэтилена и отходов кожевенно-обувного производства. Фрикционные испытания композиционного материала осуществляли на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал-сталь 40Х частичный вкладыш» при нагрузке 1 МПа и скорости скольжения 0,26 м/с в условиях сухого трения. Для этого из полимерного материала прессовали частичные вкладыши с радиусом углубления 40 мм и шириной 25 мм. В качестве контртела использовали ролик, изготовленный из стали 40Х, рабочую поверхность которого подвергали закалке HRC 48...50 и шлифовке. Исследование поверхно-

сти контртела производили на профилографе-профилометре «Калибр ВЭИ». Температуру образца в зоне трения регистрировали хромель-копелевой термопарой на расстоянии 0,5 мм от поверхности трения. Нагружение частичных вкладышей производим с помощью рычажного устройства. Определение величины линейного износа осуществляли по потере веса путем вычислений, основанных на предположении, что износ происходит равномерно по поверхности трения. Прочность при растяжении определяли по ГОСТ 11262-86. Состав композиционного материала оптимизировали методом ротатбельного композиционного планирования второго порядка. Исследовано влияние диметилдитиокарбомата цинка ( $X_1$ ), этиленгликоля кадмия ( $X_2$ ) и измельченных отходов хромовой кожи ( $X_3$ ) на прочность при растяжении ( $\sigma_p$ , МПа) и интенсивность изнашивания материала на основе полиэтилена ( $I_1$ ). Композиция, соответствующая основному уровню варьирования независимых переменных содержит:  $C_1 = 1,2 \pm 0,55$  мас.ч. диметилдитиокарбомата цинка;  $C_2 = 3,5 \pm 1,5$  мас.ч. этиленгликоля кадмия,  $C_3 = 10 \pm 4$  мас.ч. измельченных отходов кожи хромовой (КХ).

После реализации плана эксперимента и обработки экспериментальных данных на ПЭВМ получены уравнения, отражающие влияние ингредиентов на прочность при растяжении (1) и интенсивность изнашивания (2) композиционного материала на основе вторичного полиэтилена:

$$\sigma_p \cdot 10 = 194,9 - 2,219X_1 + 0,3162X_2 - 9,696X_3 + 1,209X_1X_2 - 0,6255X_1X_3 + 1,460X_2X_3 + 11,03X_1^2 + 0,7136X_2^2 + 4,547X_3^2; \quad (1)$$

$$I_1 \cdot 10^9 = 5,407 + 0,4509X_1 - 0,1119X_2 + 0,4762X_3 - 0,1147X_1X_2 + 0,1547X_1X_3 + 0,2990X_2X_3 - 0,0858X_1^2 + 0,2026X_2^2 + 0,1006X_3^2. \quad (2)$$

Проверку адекватности полученных уравнений осуществляем по критерию Фишера ( $F_{\text{табл}} = 5,05$ ) [5]. Экспериментальные значения критериев Фишера и доверительные интервалы коэффициентов уравнений регрессии:

для уравнения (1)  $F_3 = 0,7858$ ;  $b_0 = 3,438$ ;  $b_i = 2,279$ ;  $b_{ij} = 2,979$ ;  $b_{ii} = 2,220$ ;

для уравнения (2)  $F_3 = 4,101$ ;  $b_0 = 0,03319$ ;  $b_i = 0,02200$ ;  $b_{ij} = 0,02876$ ;  $b_{ii} = 0,02143$ .

Из сравнения табличных и экспериментальных значений критериев Фишера видно, что уравнения (1)–(2) представляют собой адекватные математические модели композиционного материала.

После перехода к натуральным переменным уравнения (1)–(2) принимают соответствующий вид:

$$\sigma_p \cdot 10 = 319,3 - 93,87C_1 - 6,201C_2 - 8,618C_3 + 1,466C_1C_2 - 0,2843C_1C_3 + 0,2433C_2C_3 + 36,48C_1^2 + 0,3172C_2^2 + 0,2842C_3^2; \quad (3)$$

$$I_1 \cdot 10^9 = 5,564 + 1,284C_1 - 1,036C_2 - 0,0140C_3 - 0,1390C_1C_2 + 0,07032C_1C_3 + 0,04983C_2C_3 - 0,2837C_1^2 + 0,09003C_2^2 - 0,6286e^{-2} \cdot 10^{-2}C_3^2. \quad (4)$$

Так как при движении поездов амортизирующие прокладки подвержены износу, то оптимизацию содержания наполнителей в полимерной

композиции осуществляли по уравнению (4). В результате обработки уравнения (4) установили, что минимальную интенсивность изнашивания

$I_1 = 3,539 \cdot 10^{-9}$  имеет композиционный материал, который содержит 0,275 мас.ч. диметилдитиокарбомата цинка, 5 мас.ч. этилгликоля кадмия и 3,27 мас.ч. измельченных отходов кожи хромовой на 100 мас.ч. вторичного полиэтилена. Подставив значения содержания компонентов по уравнению (4) в уравнение (3), получим расчетные значения прочности материала при растяжении  $\sigma_p = 25,0$  МПа. Композиционный материал, полученный по уравнению (4), может быть использован для изготовления пучинных карточек для регулировки положения рельсов при пучении грунтов земляного полотна.

Для повышения износостойкости и демпфирующих свойств амортизирующих прокладок в полимерную композицию, которая получена по уравнению (4), дополнительно вводим резиновую крошку и измельченную юфть. Методом математического планирования второго порядка экспе-

риментов исследовали влияние измельченных отходов кожи хромовой ( $X_1$ ), резиновой крошки ( $X_2$ ) и юфти ( $X_3$ ) на интенсивность изнашивания  $I_2$ , прочность при растяжении ( $\sigma_p$ , МПа) композиционного материала.

Композиция, соответствующая основному уровню варьирования независимых переменных, содержала:  $C_1 = 10 \pm 4$  мас.ч. кожи хромовой;  $C_2 = 70 \pm 20$  мас.ч. резиновой крошки;  $C_3 = 50 \pm 20$  мас.ч. юфти. Износостойкость полимерного материала исследовалась на машине трения СМЦ-2 при нагрузке 1 мПа и скорости относительного скольжения 0,5 м/с в условиях трения без смазочного материала по стальному контртелу.

После реализации плана эксперимента и обработки на ПЭВМ экспериментальных данных получены уравнения, отражающие влияние наполнителей на интенсивность изнашивания и прочность при растяжении композиционного материала:

$$I_2 \cdot 10^9 = 1,724 + 0,07786X_1 + 0,1432X_2 - 0,2926X_3 - 0,0146X_1X_2 + 0,01710X_1X_3 - 0,06464X_2X_3 - 0,8910e^{-4}X_1^2 + 0,03942X_2^2 - 0,07540X_3^2; \quad (5)$$

$$\sigma_p \cdot 10 = 117,4 - 4,711X_1 - 9,041X_2 - 18,05X_3 - 0,9216X_1X_2 - 1,130X_1X_3 - 0,4879X_2X_3 + 0,8391X_1^2 - 2,110X_2^2 - 2,522X_3^2. \quad (6)$$

Проверку адекватности полученных уравнений осуществляем по критерию Фишера ( $F_{\text{табл}} = 5,05$ ) [5]. Экспериментальные значения критериев Фишера и доверительные интервалы коэффициентов уравнений регрессии:

для уравнения (5)  $F_3 = 2,707$ ;  $b_0 = 2,296$ ;  $b_i = 1,522$ ;  $b_{ij} = 1,990$ ;  $b_{ii} = 1,483$ ;

$$I_2 \cdot 10^9 = 1,676 + 0,01984C_1 - 0,0109C_2 - 0,0161C_3 - 0,1824 \cdot 10^{-3}C_1C_2 + 0,2137 \cdot 10^{-3}C_1C_3 + 0,1616 \cdot 10^{-3}C_2C_3 - 0,5569 \cdot 10^{-5}C_1^2 + 0,9856 \cdot 10^{-4}C_2^2 + 0,1885 \cdot 10^{-3}C_3^2; \quad (7)$$

$$\sigma_p \cdot 10 = 154,3 - 0,8291C_1 + 0,3570C_2 - 0,0575C_3 - 0,0115C_1C_2 - 0,0141C_1C_3 - 0,1220 \cdot 10^{-2}C_2C_3 + 0,05245C_1^2 - 0,5274 \cdot 10^{-2}C_2^2 - 0,6306 \cdot 10^{-2}C_3^2. \quad (8)$$

Оптимизацию состава полимерной композиции производили по критерию износостойкости амортизирующих прокладок по координатам точки минимума функции (8), поверхность отклика которой представлена на рисунке 1. В результате обработки уравнения (7) установлено, что минимальной интенсивностью изнашивания  $I_2 = 1,333 \cdot 10^{-9}$  характеризуется композиция, содержащая 3,27 мас.ч. кожи хромовой, 48,48 мас.ч. резиновой крошки и 24,4 мас.ч. юфти на 100 мас.ч. вторичного полиэтилена. Из композиции оптимального состава были изготовлены опытные образцы амортизирующих прокладок. В результате лабораторных испытаний установлено, что материал прокладок характеризуется следующими показателями: прочность при растяжении, МПа, – не менее 12; интенсивность изнашивания – не более  $1,5 \cdot 10^{-9}$ ; водопоглощение за 24 часа, %, – не более 0,8; из-

менение массы после воздействия осевого масла “Л” за 24 часа, %, – не более 2,5.

Из сравнения экспериментальных и табличных значений критериев Фишера видно, что уравнения (5) и (6) являются адекватными.

После перехода к натуральным переменным уравнения (5)–(6) принимают, соответственно, вид

менение массы после воздействия осевого масла “Л” за 24 часа, %, – не более 2,5.

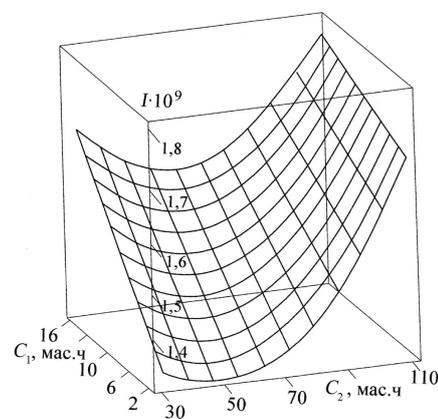


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности изнашивания  $I_2$  композиционного материала с 24,4 мас.ч юфти  $C_3$ , от содержания кожи хромовой  $C_1$  и резиновой крошки  $C_2$

Таким образом, в результате проведенных исследований оптимизирован состав композиционного материала на основе вторичного полиэтилена для амортизирующих прокладок и исследованы его износостойкость и основные физико-механические свойства. На основании проведенных исследований из разработанного композиционного материала изготовлена опытная промышленная партия нащпальных прокладок на железобетонные шпалы, которые использованы для проведения эксплуатационных испытаний на Белорусской железной дороге.

Получено 17.05.2005

**V. I. Inutsin.** Compositional material for the on-sleeper padding on the ferro-concrete sleepers.

On the basis of the results of the research of wear-resistance and tension strength of the compositional material its compound has been optimized for the on-sleeper padding on the ferro-concrete sleepers.

#### Список литературы

- 1 **Кравченко, Н. Д.** Ресурсосберегающая конструкция пути / Н. Д. Кравченко // Путь и путевое хозяйство. – № 7. – 2002. – С. 11–15.
- 2 **Лысюк, В. С.** Резервы сбережения ресурсов / В. С. Лысюк, Г. Г. Желнин, В. В. Кузнецов // Путь и путевое хозяйство. – № 11. – 2000. – С. 2–5.
- 3 ТУ РБ 14466067.001 – 96. Прокладки нащпальные для деревянных шпал. – Гомель, 1996.
- 4 **Инютин, В. И.** Оптимизация состава композиционного материала для путевых прокладок / В. И. Инютин, А. В. Инютин // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. Новосибирск, изд. СГУПС, 2004. – Вып.8. – С. 83–87.
- 5 **Евдокимов, Ю. А.** Планирование экспериментов при решении задач трения и износа / Ю. А. Евдокимов, В. И. Колесников, А. Л. Тетерин. – М., 1980. – 150 с.

---

**Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2005. № 1(10)**

---

УДК 656.212.5

*Н. А. КЕКИШ, инженер; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ ПАРКОВ СТАНЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГРУППОВЫХ ПОЕЗДОВ**

Рассматривается возможность интенсификации использования путевого развития сортировочных парков станции с учетом вместимости путей при массовом формировании групповых поездов. Приводится оценка экономической эффективности минимизации путей для накопления с последующей повторной сортировкой по сравнению со строительством дополнительных сортировочных путей. Анализируется влияние роста числа назначений при формировании групповых поездов на потребность в сортировочных путях для накопления.

Структура вагонопотоков на Белорусской железной дороге в настоящее время претерпела серьезные изменения по сравнению с концом 80-х – началом 90-х годов XX в. В ней начали преобладать маломощные вагонопотоки. Произошел существенный спад объемов перевозок, особенно во внутридорожном сообщении. Этот спад был связан как с экономическим кризисом 90-х годов XX в., так и с сильной конкуренцией со стороны автомобильного транспорта. Способность выполнять гарантированную доставку груза «от двери до двери» в кратчайшие сроки оказалась более весомым рыночным преимуществом, чем более низкий тариф на перевозку. В результате железнодорожный транспорт сумел сохранить за собой в значительном объеме практически только перевозки массовых и малоценных грузов, а также грузов, перевозимых на большие расстояния.

Скорость доставки в современных рыночных условиях является важнейшим фактором, определяющим предпочтения клиента при выборе вида транспорта. Обладая технологически более низкой

скоростью доставки, чем автомобильный транспорт, железная дорога часто не выполняет заявленный срок доставки. Невыполнение срока доставки, особенно при перевозках на малые расстояния (внутридорожное сообщение), способствует оттоку клиентов с железнодорожного сектора рынка транспортных услуг. Определенную негативную роль здесь сыграло и существующее транспортное законодательство, предусматривающее материальную ответственность за просрочку в доставке, не соответствующую реальным убыткам клиента.

Замедление продвижения вагонопотоков, вызывающее нарушения сроков доставки, является прямым следствием несоответствия существующей системы организации вагонопотоков (СОВ) их структуре и объему. Эта СОВ рассчитана на большие объемы перевозок, стабильные вагонопотоки, поэтому нацелена на максимальное выделение сквозных назначений. При малых вагонопотоках практически единственным вариантом поездобразования является формирование участковых