

После перехода к натуральным переменным уравнение принимает вид

$$Y \cdot 10^9 = 1,298 + 0,008718C_1 - 0,04526C_2 - 0,00493C_3 - \\ - 0,00008323C_1C_2 + 0,00006169C_1C_3 + 0,00007510C_2C_3 - \\ - 0,00005431C_1^2 + 0,00006619C_2^2 + 0,00007627C_3^2. \quad (2)$$

Уравнение регрессии ударной вязкости в кодированных переменных

$$Y \cdot 10 = 245,9 + 0,7533X_1 - 50,85X_2 - 6,257X_3 - 0,138X_1X_2 - 1,411X_1X_3 - \\ - 5,011X_2X_3 - 3,947X_1^2 + 10,58X_2^2 - 2,615X_3^2. \quad (3)$$

Допустимые интервалы коэффициентов для уравнения регрессии (2) для  $b_0 = 2.720$ , для  $b_i = 1.803$ , для  $b_{ij} = 2.357$ , для  $b_{ii} = 1.757$ ,  $F_T = 5,050$ ,  $F_3 = 0,2418$ .

Для уравнения (3)  $F_T > F_3$ , следовательно, уравнение (3) адекватное.

После перехода к натуральным переменным уравнение (3) принимает вид (4)

$$Y \cdot 10 = 357,3 + 1,569C_1 - 3,318C_2 + 0,5447C_3 - 0,0005521C_1C_2 - \\ - 0,004702C_1C_3 - 0,006681C_2C_3 - 0,0395C_1^2 + 0,01693C_2^2 - 0,002906C_3^2. \quad (4)$$

Применение композиционного материала на основе вторичного полиэтилена, наполненного отходами кожевенно-обувных производств, способствует снижению жесткости и повышению упругих свойств прокладок. Из разработанного материала изготовлены подрельсовые прокладки, уложенные на «маячные» шпалы для контроля продольного перемещения рельсовых плетей.

#### Список литературы

1 СТП БЧ 56.269 – 2013. Бесстыковой путь, устройство, укладка, содержание и ремонт : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 14.08.2013 № 772 НЗ. – Минск, 2013. – 115 с.

2 **Инютин, В. И.** Подрельсовые прокладки для «маячных» шпал / В. И. Инютин, С. С. Кожедуб, А. А. Кирьянова // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-прак. конф. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 26–28.

3 **Инютин, В. И.** Разработка технологии переработки вторичного сырья в путевые прокладки / В. И. Инютин, С. С. Кожедуб, А. А. Кирьянова // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-прак. конф. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 166–168.

УДК 625.143.46.036.61.8

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК В РЕЛЬСОВЫХ СТЫКАХ

*И. И. ХАЛУПА*

*Белорусская железная дорога, г. Волковыск*

*С. С. КОЖЕДУБ, В. И. ИНЮТИН*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Несмотря на широкое распространение бесстыкового пути на Белорусской железной дороге остается достаточное протяжение участков, где укладываются рельсовые стыки: уравнильные пролеты; кривые малого радиуса; участки между стрелочными переводами на станции; участки пути в районах добычи полезных ископаемых. Для устранения просадок, возникающих в стыках, применяются прокладки, укладываемые под подошвы шпал в подрельсовом сечении, что является эффективным способом устранения просадок при текущем содержании пути [1]. Подшпальные прокладки изготавливаются из резины, в состав которой входит каучук, имеющий высокую стоимость [2]. При этом для снижения стоимости прокладок и повышения их надежности наиболее рационально применять для их изготовления композиционные материалы на основе промышленных отходов, образующихся на предприятиях Республики Беларусь.

Целью проведенных исследований является разработка композиционного материала (на основе вторичного полиэтилена и отходов от регенерации использованных автомобильных покрышек) для изготовления подшпальных прокладок.

В качестве исходного сырья использовали отходы кордного волокна и резиновой крошки, образуемые при регенерации изношенных автомобильных покрышек. В качестве связующего использовали вторичный полиэтилен, получаемый путем измельчения на роторном измельчителе тарных мешков, использованной полиэтиленовой упаковки и пленки, до частиц размером 2–10 мм. Компоненты полимерной композиции в соответствующих массовых соотношениях смешивали в смесителе лопастного типа в течение 10–15 минут. Для повышения технологичности полученной композиции ее подвергали уплотнению на вальцах. Для этого масса разогревалась до температуры 80–90 °С и подавалась на валки. При этом температура рабочего вала 140–160 °С, а холостого вала 120–140 °С. Время вальцевания составляло 15 мин, после чего развальцованное полотно срезалось с валков и нарезалось на соответствующие заготовки. Полученные заготовки подавали на формующую оснастку и запрессовывали. Технологические параметры и режим прессования следующие: прогрев предпресса до температуры 160–170 °С с выдержкой под давлением 5–6 МПа в течение 3–5 минут. Далее выдержка прокладок под давлением 8–10 МПа в течение 8–12 минут и их охлаждение в прессформе до остаточной температуры 40–50 °С. Производство прокладок характеризуется своей безотходностью, так как обрезанный облой и бракованные прокладки дополнительно измельчали и обратно возвращали в технологический процесс.

В качестве антифрикционной добавки использовали гудрон, который является отходом производства масложировой промышленности. Гудрон получается при дистилляции жирных кислот, выделенных из соапстоков светлых растительных масел.

Исследования по оптимизации состава материала проводились методом центрального композиционного ротатбельного планирования второго порядка [2]. В качестве параметров оптимизации были выбраны ударная вязкость  $a$ , кДж/м<sup>2</sup> ( $Y_1$ ), и предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг}$ , МПа ( $Y_2$ ), в качестве факторов – содержание в связующем гудрона  $C_1$ , мас. ч. ( $X_1$ ), резиновой крошки  $C_2$ , мас. ч. ( $X_2$ ) и отходов кордного волокна  $C_3$ , мас. ч. ( $X_3$ ). Композиционный материал на основном уровне варьирования содержал: гудрона  $C_1 = 1,5 \pm 0,5$  мас. ч.; резиновой крошки  $C_2 = 25 \pm 10$  мас. ч. и отходов кордного волокна  $C_3 = 40 \pm 20$  мас. ч.

Результаты обработки данных эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний материала на ударную вязкость

Результаты испытаний, кДж/м <sup>2</sup>				
$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_{ср.}$	$Y_{выч.}$
32,33	33,53	32,62	32,83	32,76
27,19	28,00	28,43	27,87	27,79
34,90	34,70	34,18	34,59	34,64
38,28	37,78	36,81	37,62	37,49
37,96	38,53	37,59	38,03	38,17
31,74	30,43	31,11	31,09	31,05
30,23	30,83	29,11	30,06	30,14
30,44	31,02	30,85	30,77	30,84
33,69	33,78	34,97	34,15	34,02
30,09	30,41	30,02	30,17	30,20
36,17	36,33	35,91	36,14	36,28
30,83	30,37	29,76	30,32	30,43
31,49	31,72	31,70	31,64	31,60
35,45	36,07	34,63	35,38	35,23
34,32	35,15	33,88	34,45	34,59
34,25	35,46	34,73	34,81	34,59
35,54	34,48	34,82	34,94	34,59
33,96	33,92	35,10	34,33	34,59
33,91	34,24	34,22	34,12	34,59
35,63	34,11	34,90	34,88	34,59

После реализации плана-эксперимента и обработки данных было получено уравнение регрессии, отражающее влияние концентрации компонентов на ударную вязкость композита. Уравнение регрессии ударной вязкости в кодированных переменных:

$$Y_1 = 34,59 + 1,068X_1 - 0,4157X_2 + 0,3110X_3 + 1,955X_1X_2 - 0,5378X_1X_3 - 2,478X_2X_3 - 0,8368X_1^2 - 1,307X_2^2 + 0,4107X_3^2. \quad (1)$$

Допустимые интервалы коэффициентов для уравнения регрессии (1): для  $b_0 = 0,3938$ ; для  $b_i = 0,2610$ ; для  $b_{ij} = 0,3412$ ; для  $b_{ii} = 0,2543$ ;  $F_T = 5,050$ ;  $F_3 = 0,2455$ . Из сравнения табличного  $F_T = 5,050$  и экспериментального  $F_3 = 0,2455$  значения критерия Фишера видно, что уравнение (1) представляет собой адекватную математическую модель ударной вязкости композиционного материала. После перехода к натуральным переменным уравнение (1) принимает вид:

$$a = 20,23 + 7,811C_1 + 0,2022C_2 + 0,2206C_3 + 0,2607C_1C_2 - 0,0538C_1C_3 - 0,8261 \cdot 10^{-2}C_2C_3 - 3,347C_1^2 - 0,5808 \cdot 10^{-2}C_2^2 + 0,1027 \cdot 10^{-2}C_3^2. \quad (2)$$

После обработки данных по прочности материала на изгиб получено следующее уравнение в кодированных переменных:

$$Y_2 = 10,19 + 0,8439X_1 - 0,2439X_2 + 0,8638X_3 - 0,1935X_1X_2 + 0,3184X_1X_3 + 0,5469X_2X_3 - 0,1481X_1^2 + 0,3445X_2^2 - 0,1874X_3^2. \quad (3)$$

Допустимые интервалы коэффициентов для уравнения регрессии: для  $b_0 = 0,1168$ ; для  $b_i = 0,07745$ ; для  $b_{ij} = 0,1012$ ; для  $b_{ii} = 0,07546$ ;  $F_T = 5,050$ ;  $F_3 = 0,2513$ .

После перехода к натуральным переменным, уравнение (3) принимает вид:

$$\sigma_{изг} = 7,981 + 2,832C_1 - 0,1273C_2 - 0,0127C_3 - 0,0257C_1C_2 + 0,03187C_1C_3 + 0,1823 \cdot 10^{-2}C_2C_3 - 0,5925C_1^2 + 0,1531 \cdot 10^{-2}C_2^2 - 0,4684 \cdot 10^{-3}C_3^2. \quad (4)$$

В результате анализа аналитических зависимостей установлено, что оптимальная ударная вязкость разработанного композиционного материала на основе вторичного полиэтилена, наполненного отходами кордного волокна и резиновой крошки, составляла  $a = 43,2$  кДж/м<sup>2</sup>, а прочность при изгибе –  $\sigma_{изг} = 14,6$  МПа.

Разработанный композиционный материал на основе промышленных отходов предназначен для изготовления подшпальных прокладок, снижающих уровень вертикальных сил, действующих на путь в стыковой зоне.

#### Список литературы

- 1 Повышение стабильности пути в зоне стыков за счет применения упругих подрельсовых прокладок / О. В. Повзнер [и др.] // Вестник ВНИИЖТа. – 2016. – № 3. – С. 140–146.
- 2 Каплин, В. Н. Повышение стабильности пути в стыках / В. Н. Каплин // Путь и путевое хозяйство. – 2019. – № 4. – С. 29–31.

УДК 338.47:625.7/.8

## ПРЕДПОСЫЛКИ СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА И ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

*И. М. ЦАРЕНКОВА, К. С. ПРИШЕЛЬЦЕВА, А. А. ЦАРЕНКОВ, И. А. ТОМЧУК*  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Современный период экономического развития характеризуется интенсивным внедрением информационных технологий во все сферы экономической и социальной деятельности. Отработанные годами бизнес-модели претерпевают колоссальные изменения под влиянием инновационных экзогенных факторов. Глобальная цифровая трансформация на основе развития информационных и коммуникационных технологий, технологических и нетехнологических новаций создает предпо-