

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

УДК 625.143.482.033

### ПОВЫШЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ РЕЛЬСОШПАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ В ЗАГРЯЗНЕННОМ БАЛЛАСТЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИМ СУФЛЯЖЕМ

А. А. АБРАШИТОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Одной из главных проблем устройства и содержания бесстыкового пути является обеспечение его устойчивости [1]. Основным фактором устойчивости является сопротивление сдвигу шпал в балласте (до 50 % от общего сопротивления [1]). Сопротивление поперечному сдвигу железобетонных шпал в балласте складывается из сопротивления подошвы шпалы по балласту (~50–60 %) и боковых поверхностей шпалы (~35–40 %), и сопротивления балластного плеча сдвигу (~7–10 %) [2].

На возникновение состояния потери устойчивости бесстыкового пути может влиять зона отрицательного прогиба рельсов под подвижным составом, в результате образования которой нарушается контакт между щебеночным основанием и нижними постелями шпал (рисунок 1). Зона отрицательного прогиба для пути на железобетонных шпалах составляет 2,50–2,00 м [1]. Когда вся конструкция находится в состоянии, близком к возможной потере устойчивости, сопротивление сдвигу по подошвам близлежащих к зоне отрицательного прогиба шпал должно быть достаточно высоким [1].

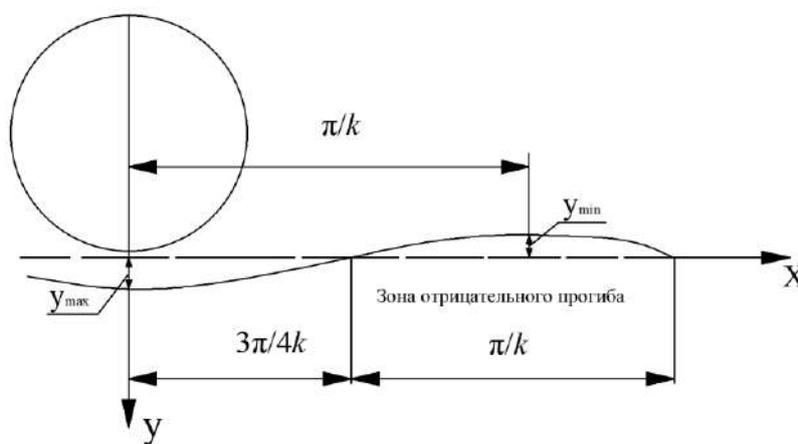


Рисунок 1 – Зона отрицательного прогиба

**Мероприятия по повышению сопротивления трению загрязненного балласта по подошве шпалы.** В МИИТе был создан испытательный стенд, на котором были выполнены лабораторные эксперименты по моделированию сопротивления железобетонной шпалы сдвигу (рисунки 2, 3).

Стенд, на котором производились испытания, представлял собой прочную металлическую раму, закрепленную над ящиком. Ящик размером 150×30×40 см был заполнен балластом.

Использовались три вида балласта:

- крупный новый балластный щебень фракции 25–60 мм, соотношение по грансоставу: частиц размером 25–40 мм – 25 %; фракции 40–60 мм – 75 %;
- старый балластный щебень, загрязненность 30 %;
- мелкий новый промытый щебень, фракции 5–10 мм.

На балласт был уложен корытш железобетонной шпалы ШС-АРС (см. рисунок 2).



Рисунок 2 – Коротыш железобетонной шпалы ШС-АРС

Для имитации нагрузки от подвижного состава использовался вертикальный домкрат с нагрузкой до 110 кН, упирающийся в прикрепленную к полу прочную металлическую раму, а нижней частью в рельс. Для создания горизонтальной сдвигающей нагрузки использовался горизонтальный гидроцилиндр с нагрузкой до 50 кН, упирающийся в неподвижный упор (см. рисунок 3).

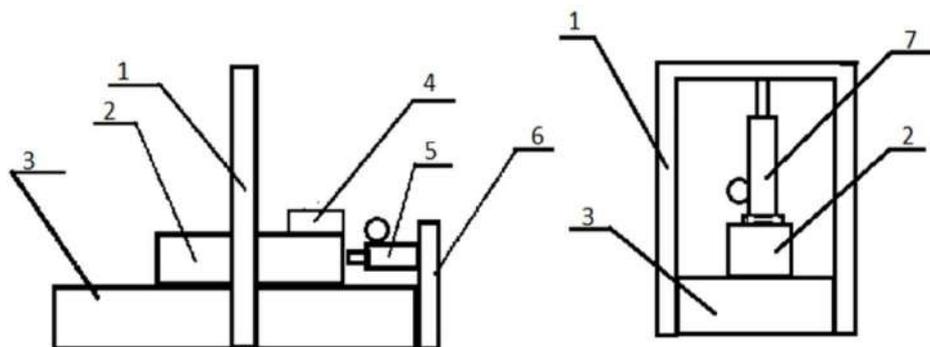


Рисунок 3 – Схема опытного стенда:

1 – рама; 2 – коротыш шпалы; 3 – ящик со щебнем; 4 – вибратор; 5 – горизонтальный домкрат с манометром; 6 – упор; 7 – вертикальный домкрат с манометром

На каждый образец последовательно подавалась вертикальная нагрузка 0, 10, 30 и 50 кН из условия обеспечения под штампом напряжения  $\sigma = 0,32$  МПа [3].

Эксперименты проводились с различными видами подшпального основания:

- крупный новый уплотненный щебень;
- грязный (30 % загрязнения) щебень;
- грязный уплотненный щебень, после уплотнения с засыпанным поверх него и уплотненным мелким щебнем.

Уплотнение щебня имитировалось нагружением коротыша вертикальной нагрузкой 49 кН, с передачей на коротыш вибрации частотой 12 Гц, амплитудой 1 мм на протяжении 50 тысяч циклов.

По результатам испытаний были сделаны следующие выводы:

1 Выправка образца грязного щебня подбивкой привела к снижению поперечного сопротивления образца на 30 %.

2 Сравнение поперечной устойчивости выправленного подбивкой и уплотненного циклической нагрузкой грязного щебня и его же, выправленного поверх суфляжем, но неуплотненного, показало, что поперечное сопротивление сдвигу обоих образцов практически одинаково.

3 При уплотнении образца грязного щебня, выправленного подбивкой, и образца грязного щебня, выправленного суфляжем, поперечная устойчивость образца, выправленного суфляжем, при нагрузках от верхнего строения пути в 2,5 раза выше, чем у образца, выправленного подбивкой щебня.

4 Образец грязного щебня, выправленный пневматическим суфляжем, после уплотнения сравним по характеристикам поперечной устойчивости коротыша на сдвиг с аналогичными характеристиками, полученными на образце с крупным новым щебнем (рисунок 4).

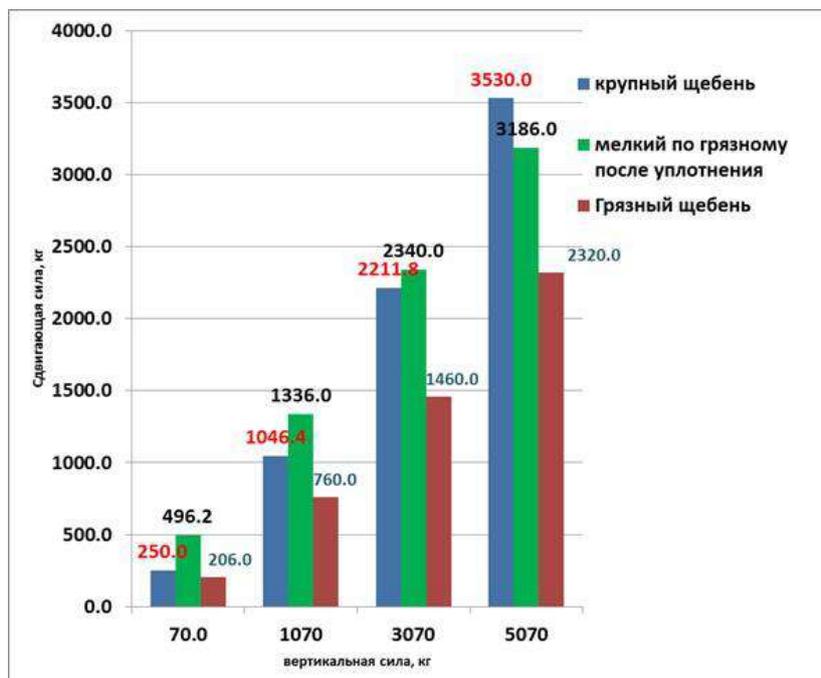


Рисунок 4 – Сравнение сопротивления сдвигу нового уплотненного щебня и грязного уплотнённого щебня с засыпанным поверх него и уплотненным суфляжным слоем щебня

**Мероприятия по увеличению общего сопротивления рельсошпальной решетки сдвигу за счет уплотнения балласта в ящике и плеча балластной призмы.** Параметром, который используется для оценки бокового сопротивления, является сила, необходимая для перемещения шпалы на определенное расстояние, как правило, до 6,4 мм [4].

Характерные примеры кривых зависимости поперечных сил сдвига от смещения для деревянных шпал приведены на рисунке 5 для выправки подбивкой с ней же, но после уплотнения плеча балластной призмы и балласта в шпальном ящике. Сопротивление перемещению увеличивается в обоих случаях. Уплотнение значительно увеличивает сопротивление по сравнению с выправкой без уплотнения. Известно три компонента поперечного сопротивления шпал, зависящие от балласта, такие, как сопротивление подошвы, боковое трение и сопротивление плеча [4].

Вклад каждого из этих элементов показан на рисунке 6 [4]. Боковое сопротивление здесь задается как отношение произвольно взятого значения для сравнения [4].

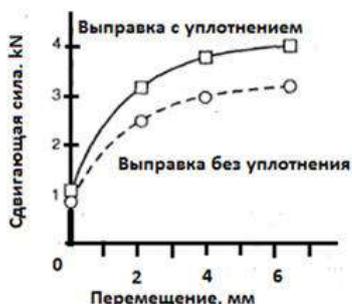


Рисунок 5 – Влияние уплотнения балласта на общее поперечное сопротивление деревянной шпалы



Рисунок 6 – Вклад элементов балластной призмы в общую устойчивость балласта (в долях единицы)

Базовое сопротивление представляет собой силу, необходимую чтобы преодолеть сопротивление трения с приложенной нормальной силой, равной весу шпал. Коэффициент трения в значитель-

ной степени зависит от шероховатости дна шпал. Этот компонент сопротивления будет возрастать с увеличением веса шпалы (см. рисунок 6, а). Боковое сопротивление вызвано сопротивлением трению по бокам шпалы от нормальной силы, вызванной боковым давлением балласта в ящике.

Компонент бокового сопротивления возрастает линейно от глубины балласта в ящике (см. рисунок 6, б). Давление балластом по бокам шпалы значительно увеличивается при уплотнении. Сопротивление плеча – это результирующая пассивного давления сопротивления со стороны плеча, которое возникает при сдвиге шпалы, и активного давления со стороны плеча, которое выталкивает шпалу, оно увеличивается непосредственно от высоты над постелью и с шириной плеча (см. рисунок 6, с). Уплотнение плеча приведет к увеличению этого сопротивления.

Вклад в сопротивление основания деревянной шпалы составляет лишь около 14 % от общего сопротивления. Боковое трение составляет около 57 %, т. е. более половины от общего числа, а сопротивление плеча составляет около 29 %. Боковое сопротивление под нагрузкой становится гораздо больше, чем для ненагруженной шпалы, так как компонент трения по основанию будет существенно возрастать, при том, что сопротивления от балласта в шпальном ящике и толщина плеча балластной призмы остаются без изменений. Таким образом, процентное увеличение бокового сопротивления от уплотнения должны быть значительно меньше под поездной нагрузкой, чем это показано на рисунке 6 [4].

Боковое сопротивление после уплотнения также зависит от высоты подъёмки во время выправки. При увеличении высоты подъёмки от 0 до 40 мм, боковое сопротивление уменьшается с 80 до 65 %. Рисунок 7 также показывает, что уплотнение щебня в ящике и уплотнение плеча увеличивает общее сопротивление сдвигу.

Под действием нагрузки, пренебрегая уплотнением балласта в шпальном ящике и уплотнением плеча балластной призмы, все три компонента сопротивления будут возрастать (рисунок 8). Общее сопротивление шпал увеличится и процент от общего вклада бокового трения в ящике сократится. Важно помнить, что этот вывод верен для ненагруженного пути. Для нагруженного пути процент вклада бокового трения по балласту в ящике будет совершенно иным и значительно снизится [4]. Преимущество уплотнения балласта ящика и плеча – уменьшение времени действия предупреждения по снижению скорости движения после выправки. После наработки пропущенного тоннажа (2 млн т) боковое сопротивление становится примерно таким же, как до выправки (см. рисунок 8).



Рисунок 7 – Влияние величины подъёмки и способов обработки балластной призмы после выправки на поперечное сопротивление сдвигу

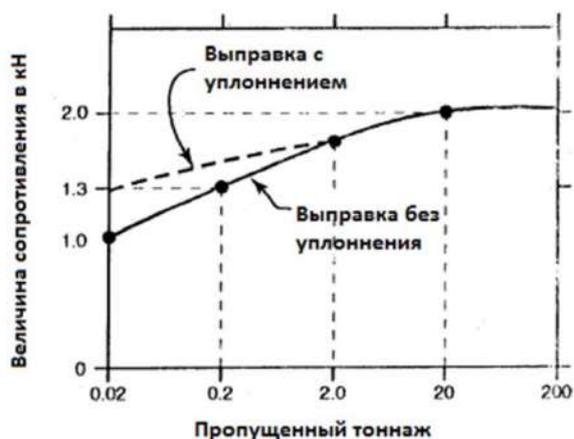


Рисунок 8 – Соответствие работы по уплотнению балласта в шпальном ящике и плеча балластной призмы пропущенному тоннажу

Результаты экспериментов, полученные в рамках лабораторного цикла исследований [4], позволяют предположить допустимость использования выправки железнодорожного пути в профиле с использованием пневматической подсыпки мелкого щебня (пневматического суфляжа). Такой способ выправки не приведет к снижению сопротивления выправленных шпал поперечному сдвигу.

Уплотнение балласта плеча балластной призмы ведет к повышению сопротивления рельсошпальной решетки поперечному сдвигу при проведении выправки пути в продольном профиле, что особенно актуально для зоны отрицательного прогиба рельсошпальной решетки [1].

#### Список литературы

- 1 **Бромберг, Е. М.** Устойчивость бесстыкового пути / Е. М. Бромберг. – М. : Транспорт, 1966. – С. 67.
- 2 **Виногоров, Н. П.** Устойчивость бесстыкового пути / Н. П. Виногоров // Путь и путевое хозяйство. – 2005. – № 8. – С. 7–13.
- 3 Организация высокоскоростного движения на участке Москва – Санкт-Петербург : отчет о НИР 6.3.00. – М. : МИИТ, 2005.
- 4 **Selig, E. T.** Track Geotechnology and Substructure Management / E. T. Selig, J. M. Waters. – London : Thomas Telford Services Ltd., 1994.
- 5 Сопротивление шпал поперечному сдвигу // Железные дороги мира. – 2014. – № 1.

УДК 625.85

### ЭФФЕКТИВНЫЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВЯЖУЩЕГО

*А. А. АФАНАСЕНКО*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Долговечность дорожных покрытий является одним из приоритетных направлений в развитии транспортной инфраструктуры. Особое место в современной практике занимают щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси (ЩМА), характеризующиеся высоким содержанием щебня и битумного вяжущего. Данная структура обеспечивает высокую износостойкость и сопротивление пластическим деформациям, однако приводит к технологическим сложностям, главной из которых является стекание вяжущего при высоких температурах производства и укладки.

Мировой опыт применения стабилизирующих волокон в асфальтобетоне можно разделить на несколько категорий [1–3]. *Натуральные органические волокна*, к которым относятся волокна растительного происхождения из джута, хлопка, льна, сизаля, койры и т. д. [4, 5] (рисунок 1). Наибольшее распространение и применение получили целлюлозные волокна, получаемые из древесины, они являются наиболее часто применяемым компонентом в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона (SMA) [6]. Благодаря ветвистой структуре они обладают высокой абсорбционной способностью. В основном поставляются в виде гранул (например, Granocell), что удобно для заводского дозирования. Их преимущества – высокая эффективность и экологичность. Однако есть существенные недостатки, такие как повышенное влагопоглощение и риск термического разрушения при температурах приготовления смеси, особенно в условиях бесконтрольного нагрева материала.



Кокос

Сизаль

Лен

Кенаф

Рисунок 1 – Натуральные органические волокна

*Минеральные волокна* бывают природными (асбест) и искусственными (стекловолокно, шлаковые волокна) [7, 8] (рисунок 2). Применение асбеста было прекращено практически во всех странах мира из-за экологических рисков и рисков, связанных со здоровьем дорожных рабочих [9]. Стек-