

фициентов трения на гребне и поверхности катания колеса на основе сравнения результатов расчетов с результатами эксперимента на кольце ВНИИЖТа.

Библиографический список

1. **Контактные** задачи железнодорожного транспорта / В. И. Сакало, В. И. Коссов. – М. : Машиностроение, 2004. – С. 448–449.

2. **Классификация** работ в области расчетных и экспериментальных методов определения износа профилей колес грузовых вагонов / Орлова А. М., Саидова А. В. // Тез. докладов Международ. науч.-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты», Санкт-Петербург, 06.07–10.07.2011. – СПб. : ПГУПС, 2011. – С. 49–50.

3. **Elastic** deformation and the laws of friction / J. E. Archard // Proc. Royal Society. – London, 1957. – Ser. A243. – PP. 190–205.

4. **Результаты** обмеров поверхности катания колес опытной тележки : отчет о НИР ; тема № 797 / ПГУПС ; рук. М. В. Малахов ; исполн. : Е. П. Дудкин, К. Э. Аракелян – СПб., 2010. – 38 с. – Библиогр. : с. 5.

5. **Beitrag** zur rechnerischen Bestimmung des Rad-und Schienen-Verschleisses durch Guterwagen-

drehgestelle : Diss. / W. Specht. – Aachen, 1985. – 116 S.

6. **Verschleis** von Eisenbahnradern mit Unrundheiten : Diss. – ETH Nr. 12342 / C. Linder. – Zurich, 1997. – 127 S.

7. **Компьютерное** моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 3. Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA : учеб. пособие / В. С. Лесничий, А. М. Орлова. – СПб. : ПГУПС, 2002. – 35 с.

8. **Разработка** математических моделей вагонов на тележках 18-9810 и 18-9855 для исследования износов колес / Саидова А. В., Орлова А. М. // Тез. докладов XIII международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава и энергосбережение», Днепропетровск, 23.05–25.05.2012. – Днепропетровск : Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2012. – С. 128–129.

9. **ГОСТ 10791–2011**. Колеса цельнокатаные. Технические условия. – Введ. 2012-01-01 – М. : Стандартиформ, 2011. – 33 с.

10. **РД 32.68–96**. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. – Введ. 1997-01-01 – М., 1996. – 17 с.

УДК 625.17

И. А. Симонюк

Петербургский государственный университет путей сообщения

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ В ПЕРИОД МЕЖДУ РЕМОНТАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПУТИ И УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрены результаты исследований зависимости количества отступлений положения рельсовой колеи от пропущенного тоннажа между капитальным и промежуточным ремонтами пути. Зависимости выявлены при различных конструкциях пути и эксплуатационных условиях.

рельсовая колея, количество отступлений, пропущенный тоннаж, конструкция пути, план и профиль пути, ширина колеи, рихтовка пути, выправка пути, графики зависимостей.

Введение

В процессе эксплуатации железнодорожного пути при воздействии на него подвижного состава и природно-климатических факторов по мере наработки тоннажа образуются отступления положения рельсовой колеи в плане и в профиле, которые выявляются средствами для контроля геометрии рельсовой колеи. В нормативных документах путевого хозяйства такие отступления разделены на четыре степени. Количество отступлений второй, третьей и четвертой степени отражаются в ведомости ПУ-32.

Выявление показателей интенсивности между количеством отступлений и наработкой тоннажа позволяет оптимизировать критерии содержания пути, объективно оценить технический уровень неисправностей положения рельсовой колеи в пространстве, внести изменения в систему планирования путевых работ.

1 Определение целей исследования

Основной целью исследования зависимостей количества отступлений положения рельсовой колеи в пространстве от пропущенного тоннажа в период между капитальным и промежуточным ремонтами пути при различных конструкциях пути и условиях эксплуатации является получение коэффициентов, показывающих интенсивность накопления количества отступлений, которые будут использоваться при прогнозировании технического состояния железнодорожного пути для планирования путевых работ и при выборе оптимальной конструкции.

2 Модель работы железнодорожного пути в интервале между ремонтами

В основу исследований положена специально разработанная в ПГУПС [1] математическая модель работы пути в период между ремонтами.

В ходе работы проанализированы среднегодовые значения количества отступлений

второй, третьей и четвертой степеней за год на один километр пути.

Отступления сгруппированы по видам:

– связанные с шириной колеи, т. е. сужение и уширение колеи (далее в тексте – «шаблон»);

– по положению рельсовой колеи в плане (далее в тексте – «рихтовка»);

– в профиле и по уровню – перекосы, просадки и уровни (далее в тексте – «выправка»).

При проведении исследований использован материал за пять лет – с 2007 по 2011 год.

По каждому виду отступлений («выправка», «шаблону», «рихтовке») при различных конструкциях пути и условиях эксплуатации построены графики зависимости количества отступлений от наработки тоннажа.

В соответствии с принятой моделью (рис. 1) анализ интенсивности нарастания количества отступлений от времени и пропущенного тоннажа произведен для наиболее распространенных конструкций пути. Рассматривался железнодорожный путь, лежащий на балластной призме из щебёночного, асбестового балласта и щебне из слабых пород. При исследовании железнодорожного пути с различными видами скреплений были выбраны скрепления АРС, ЖБР, КБ и ДО. Для определения влияния разделительного слоя на состояние пути выбраны километры без разделительного слоя и с наличием в пути геотекстиля и пенополистирола.

Параметры работы железнодорожного пути принято выявлять по фактическому состоянию пути, т. е. по уровню дефектности пути в зависимости от пропущенного тоннажа. Выявление интенсивности изменения этих параметров должно определяться по результатам аппроксимации функций по методу наименьших квадратов. Фактическая зависимость изменения количества отступлений рельсовой колеи от пропущенного тоннажа и времени имеет сложный вид (см. рис. 1) [1].

Модель работы железнодорожного пути в период между ремонтами описывается выражением:

$$F = \frac{C}{x} + Bx + A \left[1 - e^{-\left(\frac{x}{y}\right)^k} \right],$$

где A , B , C и k – параметры интенсивности накопления числа отступлений от наработки тоннажа; x – пропущенный тоннаж, млн т брутто; y – среднее количество отступлений, шт/км.

Для прогнозирования изменения технического состояния рельсовой колеи от времени необходимо определить параметры зависимостей A , B , C и k . Ввиду сложности зависимостей было предложено исследовать отдельно правую ветвь, таким образом, для практических расчетов для анализа количества отступлений от наработки тоннажа на

стадии увеличения остаточных деформаций может быть выбран упрощенный вид зависимости в виде степенной функции (рис. 2):

$$Y = Ax^n,$$

где A – коэффициент, показывающий интенсивность нарастания неисправностей; n – параметр, определяемый при аппроксимации по среднесетевым данным. Для неисправностей по «выправке», «шаблону» и «рихтовке» в среднем по сети в результате статистических расчетов его величина составила $n = 0,3$.

Из рисунка 2 видно, что на участке ВС «Модель работы пути» и упрощенный вид зависимости сходимы, поэтому для исследования можно принять степенную функцию.

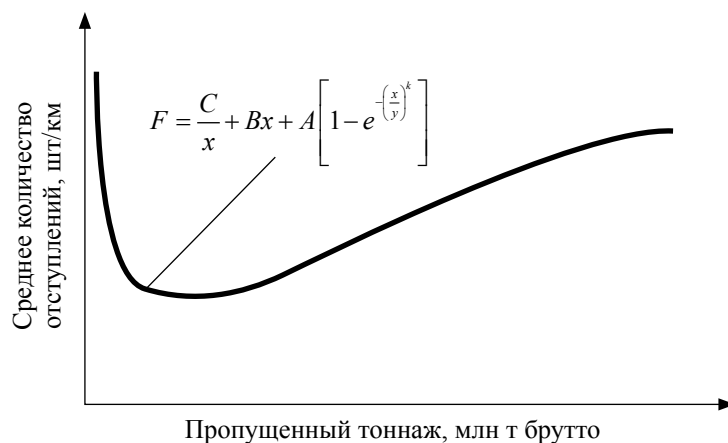


Рис. 1. Модель работы пути в межремонтный период его эксплуатации

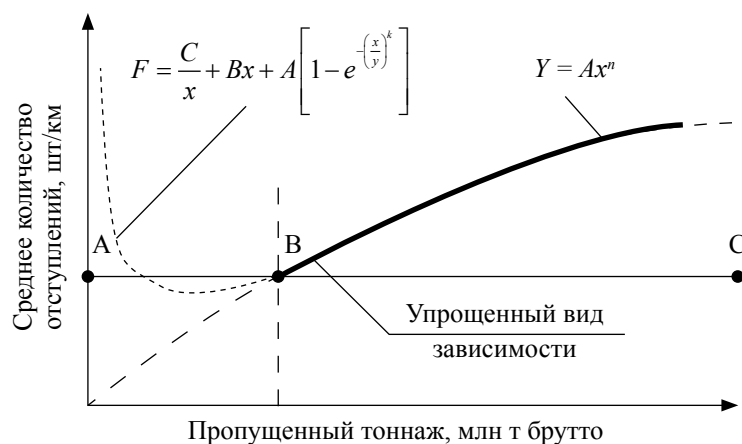


Рис. 2. Упрощенный вид модели работы пути для исследования зависимости количества отступлений от наработки тоннажа

3 Результаты исследования

На представленных ниже рисунках приведены графики зависимостей количества отступлений пути от пропущенного тоннажа (рис. 3–8). Зависимости выявлены на стадии увеличения остаточных деформаций, выраженных в виде среднегодового количества отступлений. Из расчета исключены два периода работы пути (рис. 2, левая ветвь модели, интервал *AB*) – периоды приработки и нормальной эксплуатации. Рассматривался путь с новыми рельсами типа Р65. На всем протяжении исследованных километров не производился ни один вид промежуточного ремонта, т. е. после капитального ремонта выполнялось только текущее содержание пути.

На всех графиках сплошной линией изображена аппроксимация фактического количества отступлений от тоннажа. Точки на графиках отображают среднестатистические значения количества отступлений при определенной наработке тоннажа.

На рисунке 3 представлен график зависимости количества отступлений рельсовой колеи на один километр в год для пути на деревянных и железобетонных шпалах в профиле и по уровню, подобно рисунку 3 построены

графики по «шаблону» и «рихтовке». По результатам анализа определены средние показатели интенсивности нарастания объемов отступлений у путей с различным материалом шпал. Среднее количество отступлений в профиле и по уровню на деревянных шпалах выше, чем на железобетонных, на 80%. Анализ пути в плане показывает, что количество отступлений рельсовой колеи на деревянных шпалах в 2–3 раза больше, чем на железобетонных шпалах. Значения числа отступлений по ширине колеи на деревянных шпалах отличаются от железобетонных на 95%.

На всех следующих графиках представлены результаты исследований для конструкций пути с железобетонными шпалами, как для наиболее распространенной конструкции.

В работе исследовано влияние материала балластного слоя на интенсивность образования отступлений рельсовой колеи. В качестве примера представлен график зависимости числа отступлений в вертикальной плоскости от наработки тоннажа (рис. 4).

На рисунке видно, что путь на железобетонных шпалах и щебеночном балласте имеет наилучшие показатели числа отступлений рельсовой колеи.

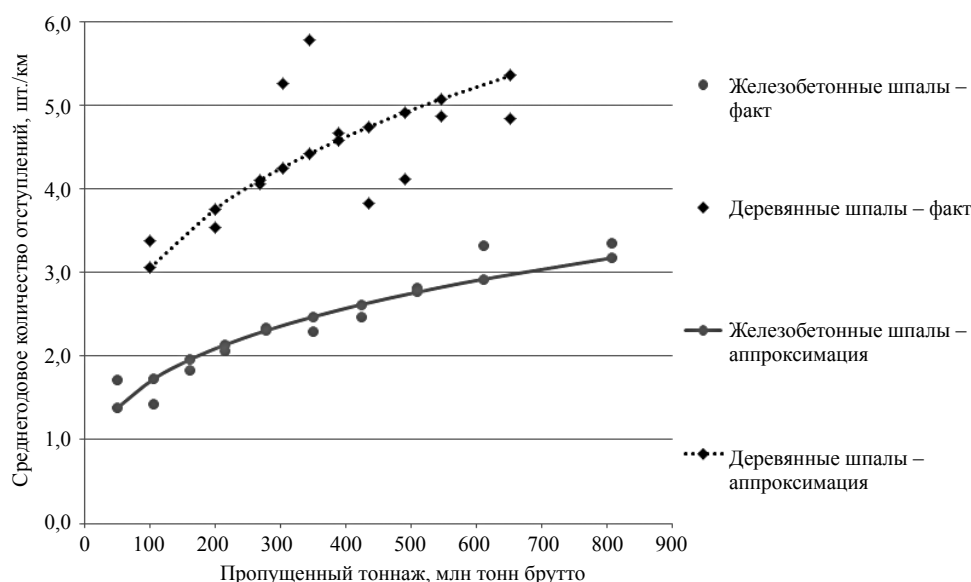


Рис. 3. График зависимости количества отступлений в профиле и по уровню от пропущенного тоннажа при различных типах шпал

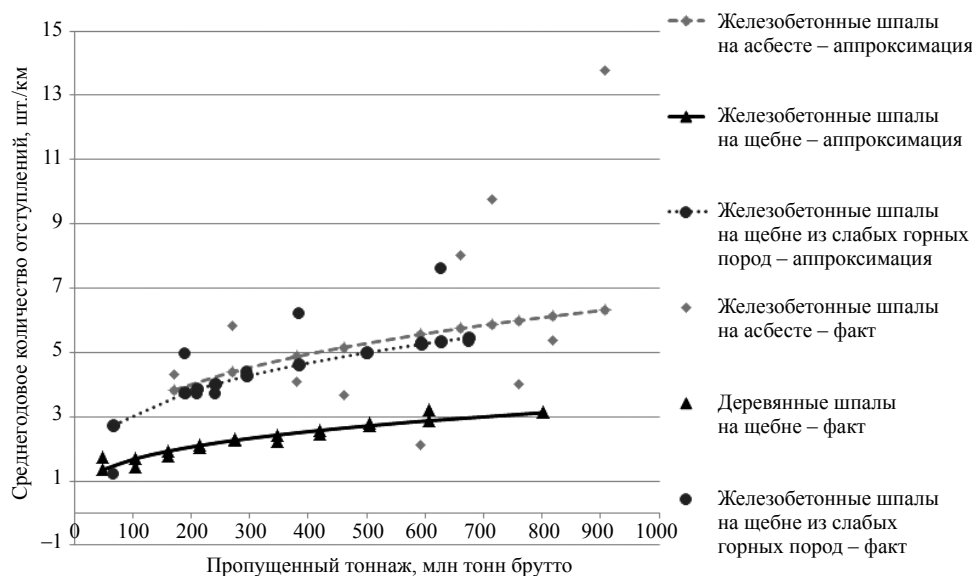


Рис. 4. График зависимости количества отступлений по уровню и в профиле при различном материале балластного слоя от пропущенного тоннажа на железобетонных шпалах

Аналогично графику 4 построены графики зависимостей числа отступлений от пропущенного тоннажа по «шаблону» и «рихтовке».

Исследования промежуточных рельсовых скреплений проводились для скреплений типа АРС, ЖБР и КБ. На рисунке 5 представлен график влияния типа скреплений на

накопление количества отступлений рельсовой колеи в профиле и по уровню. Подобные графики построены для «шаблона» и «рихтовки» при анализе влияния пропущенного тоннажа на образование отступлений при различном типе скреплений.

Самое низкое число отступлений в профиле и по уровню выявлено на скреплениях

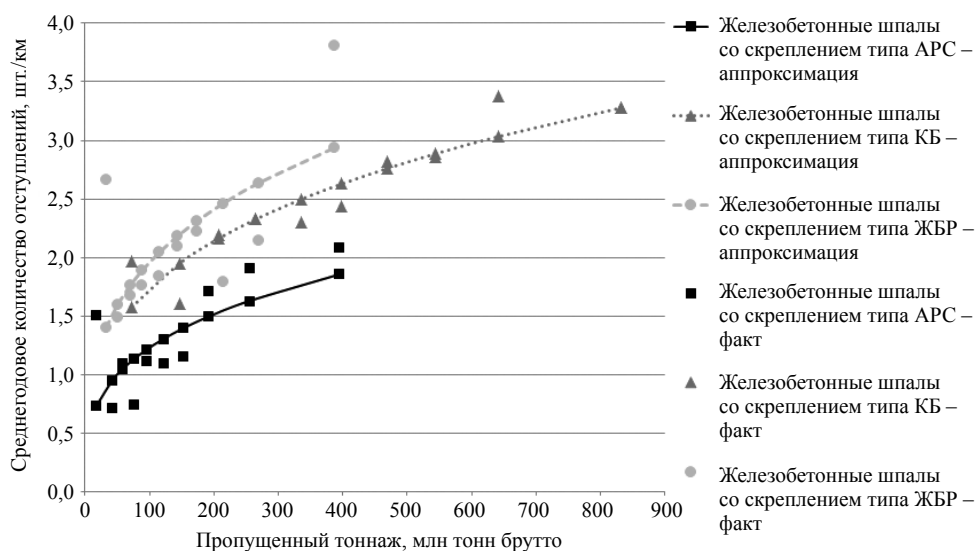


Рис. 5. График зависимости количества отступлений по уровню и в профиле от пропущенного тоннажа при различном типе скреплений

типа APC (см. рис. 5). Наименьшее количество отступлений по ширине колеи показывает конструкция пути со скреплением типа КБ.

Следующая группа рисунков (рис. 6–8) отражает результаты исследования влияния разделительного слоя на конструкцию пути.

Анализировались конструкции пути с разделительным слоем из пенополистирола на железобетонных шпалах, геотекстиля на железобетонных шпалах и без разделительного слоя. При использовании в качестве разделительного слоя пенополистирола чис-

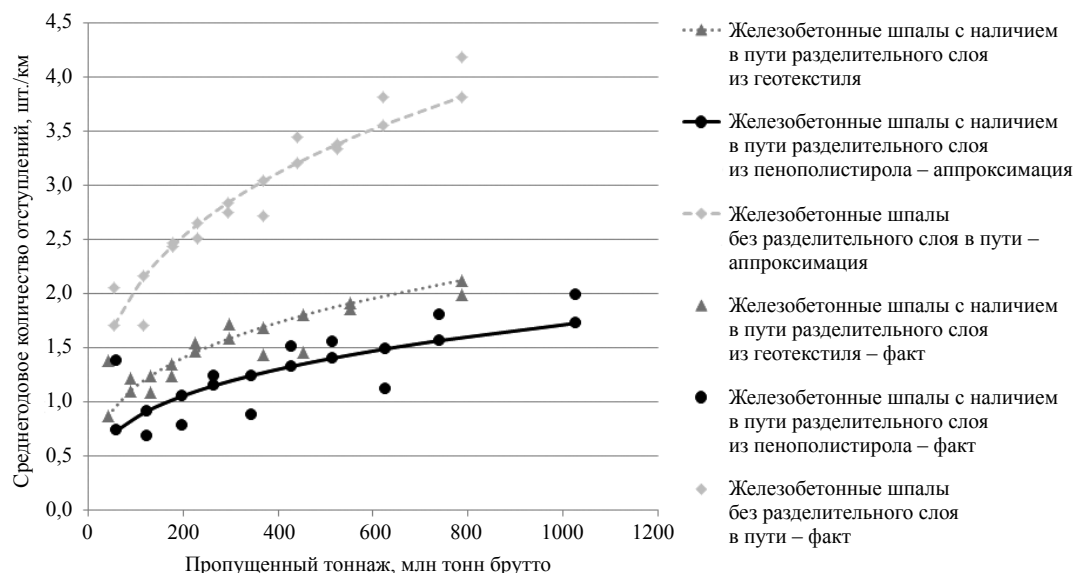


Рис. 6. График зависимости количества отступлений по уровню и в профиле от пропущенного тоннажа при различной конструкции разделительного слоя на железобетонных шпалах

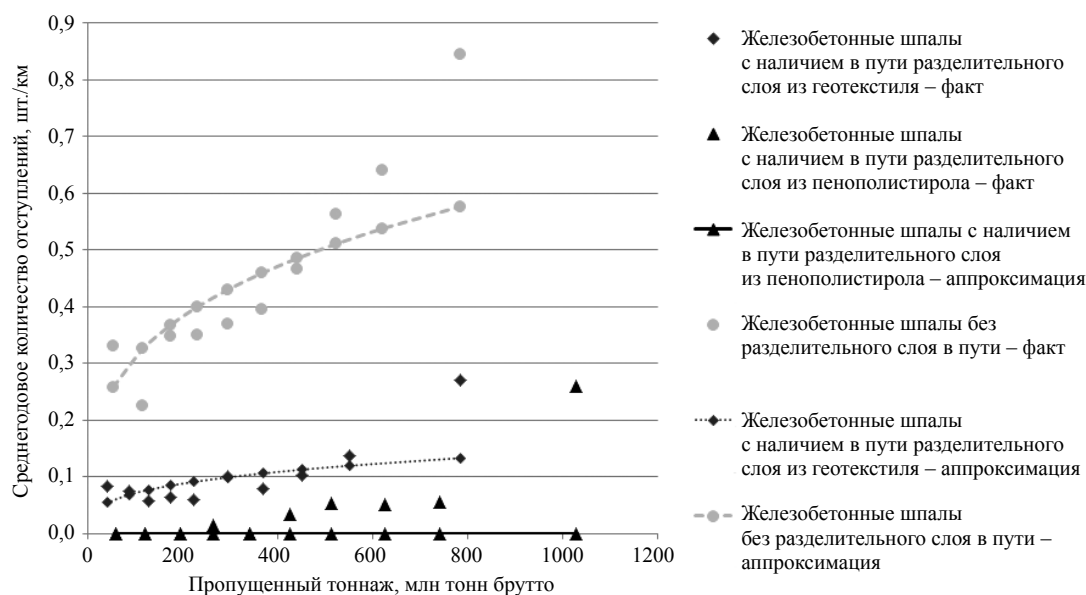


Рис. 7. График зависимости количества отступлений по положению рельсовой колеи в плане от пропущенного тоннажа при различной конструкции разделительного слоя на железобетонных шпалах

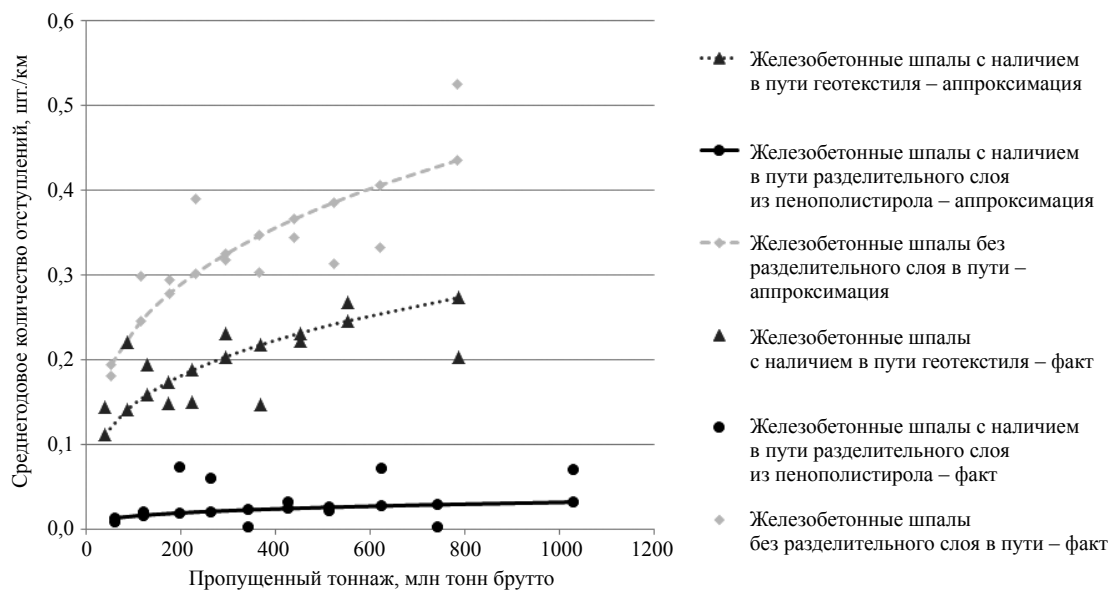


Рис. 8. График зависимости количества отступлений по ширине колеи от пропущенного тоннажа при различной конструкции разделительного слоя на железобетонных шпалах

ло отступлений рельсовой колеи в 1,5 раза меньше, чем при использовании геотекстиля. Для пути без разделительного слоя число отступлений по рельсовой колеи выше, чем для пути с разделительным слоем.

Заключение

Результаты проведенных исследований в части интенсивности нарастания количества отступлений рельсовой колеи при различной конструкции пути и условиях эксплуатации от пропущенного тоннажа могут быть использованы в методиках прогнозирования технического состояния железнодорожного пути.

Возможность применения принятой степенной функции для исследования технического состояния рельсовой колеи подтверждаются коэффициентами детерминации (зна-

чения достоверности аппроксимации данных), величины которых находятся в пределах от 0,5 до 1,0 [2]. Следовательно, параметры нарастания количества отступлений рельсовой колеи, полученные при исследовании, могут быть применимы при прогнозировании технического состояния пути и выборе оптимальной конструкции верхнего строения железнодорожного пути.

Библиографический список

1. **Оптимизация** среднесрочных перспективных планов ремонтов железнодорожного пути / В.П. Бельтюков // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 3 (34). – С. 71–74.
2. **Дифференциальное** и интегральное исчисления / Н.С. Пискунов. – М. : Интеграл-пресс, 2004. – 263 с.