

МОСТОВЫЕ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ШВЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАКРОДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ И УСИЛЕНИЕМ ГЕОСЕТКАМИ

BRIDGE STONE MASTIC EXPANSION JOINTS PRODUCED OF COMPOSITE MATERIALS WITH MACRODISPERSED REINFORCEMENT AND STRENGTHENING BY MEANS OF GEOMESHES



А. Н. Наумовец,
инженер-исследователь
Белорусского национального
технического университета,
г. Минск, Беларусь

А. В. Бусел,
доктор технических наук,
профессор, декан факультета
транспортных коммуникаций
Белорусского национального
технического университета,
г. Минск, Беларусь

А. И. Смыковский,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
республиканского дочернего
унитарного предприятия
«Белорусский дорожный
научно-исследовательский
институт «БелдорНИИ»,
г. Минск, Беларусь

В статье обобщен опыт применения щебеночно-мастичных материалов при устройстве мостовых деформационных швов. Показаны пути улучшения структуры материала, его физико-механических свойств. Определены параметры, влияющие на долговечность мастичных композиций, и представлена методика их оценки.

The article summarises the experience of stone mastic materials application when constructing bridge expansion joints, and shows the ways for improvement of the material structure, its physical and mechanical properties. The article also determines the parameters affecting the lifetime of mastic compositions, and provides a methodology of their evaluation.

Введение

Наиболее распространенным эластичным деформационным швом, применяемым в Республике Беларусь на мостах и путепроводах, является шов со щебеночно-мастичным заполнением (далее – щебеночно-мастичный деформационный шов – ЩМДШ), устраиваемый при суммарных горизонтальных перемещениях торцов балок смежных пролетов, не превышающих $\pm 12,5$ мм [1]. Данное техническое решение имеет такие преимущества, как простота конструкции деформационного шва, быстрота ремонта, самовосстановление щебеночно-мастичной массы при неглубоких повреждениях и др.

Для обеспечения надежности и долговечности работы ЩМДШ требуется соблюдение технологических параметров их устройства, а также использование качественных дорожно-строительных материалов. Однако практика применения таких швов в Республике Беларусь показала, что уже на ранних стадиях эксплуатации проявляются дефекты, нарушающие функцию ЩМДШ. Наиболее часто встречаются:

- нарушение сцепления между материалами заполнителя шва и конструктивными элементами мостового полотна;
- трещинообразование при пониженных температурах, что влечет за собой нарушение водонепроницаемости деформационного шва;
- ползучесть под нагрузкой, особенно при повышенных температурах окружающей среды;
- вынос мастичного заполнителя за пределы шва колесами проходящего транспорта.

Все перечисленные дефекты связаны главным образом со свойствами материалов, используемых при устройстве шва. Поэтому для повышения устойчивости деформационных швов в условиях действия интенсивной транспортной нагрузки необходимо

улучшить физико-механические и реологические свойства щебеночно-мастичного материала. Известен опыт применения для этих целей дисперсной арматуры из стекловолокна в составе асфальтобетона [2], свидетельствующий об улучшении его деформационных и прочностных свойств. Также известна эффективность применения армирования асфальтобетонных дорожных покрытий геосетками, что позволяет решить проблему трещиностойкости материала [3]. Это послужило основой для применения макродисперсного армирования с целью улучшения свойств мастичных композиций, используемых в ЩМДШ, и применения армирующих прослоек для усиления материала шва.

Исследование макродисперсного армирования мастичных композиций с усилением геосетками

Чтобы определить конкретный вклад данных технических решений в улучшение свойств ЩМДШ, необходимо было усовершенствовать методику оценки качества композитного материала деформационного шва в условиях, наиболее полно отражающих реальные параметры их эксплуатации. В частности, для исследования таких композиций было предложено применить трехточечный метод испытания образцов-призм, изложенный в СТБ ЕН 12697-24 [4], с использованием положений теории ползучести [5, 6].

Так как швы подвергаются многократному нагружению, для количественной оценки сопротивляемости материала в них введем коэффициент накопленной пластической деформации $K_{\text{нп}}$, который и будет характеризовать жесткость композиции в целом. Определение $K_{\text{нп}}$ представляет собой расчет отношения пластической деформации, возникающей в материале за заданное количество циклов нагружения, к упругой деформации образца.

В нашем случае – при применении мастичной композиции, макроармированной волокнистыми добавками и усиленной геосетками, полная деформация [5] составит

$$\varepsilon = \varepsilon(0) + K_{\text{нп}} \ln(x), \quad (1)$$

где $\varepsilon(0)$ – упругая деформация образца, мм;

$K_{\text{нп}}$ – коэффициент накопленной пластической деформации;

x – количество циклов нагружения, шт.

Согласно ранее проведенным исследованиям, макродисперсное армирование мастичных композиций позволяет достигнуть долговременного повышения их работоспособности [7]. В частности, испытания композиций из битумной мастики типа МГБЭ М-85 [8] и стекловолокна длиной 9,0–12,0 мм и диаметром 13 мкм

с замасливателем – силаном ЕС-6-200 [9] показали существенное улучшение свойств композиции. Размеры макродисперсной арматуры определены по условию обеспечения работы волокна в композите согласно положениям [2].

На основании ранее проведенных исследований [3] были выбраны геосетки со следующими физико-механическими характеристиками: размер ячейки – до 10 мм, поверхностная плотность – не менее 200 г/м², предел прочности при растяжении (в продольном и поперечном направлениях) – не менее 30 кН/м; относительное удлинение волокон при разрыве – не более 16 %. Всего было выбрано пять видов геосеток: ГСС [10], ГССТ [11], СШ [12], БД [13] и БС [14].

Полученные композиции в виде образцов-балочек (4 × 4 × 16 см) были испытаны в соответствии с СТБ ЕН 12697-24 [4].

Первоначально согласно методике была определена разрушающая нагрузка для образцов традиционного состава. Для дальнейших испытаний была принята величина циклической нагрузки на образец 50 % от разрушающей нагрузки [6].

Для конкретных условий испытания данная величина составила 49,6 Н (принимается для испытаний 50 Н).

Количество циклов нагружения приняли 199 (максимальное согласно методике), скорость нагружения – 10 мм/мин [5].

Состав щебеночно-мастичного материала для испытаний соответствовал [7]. Для изготовления образцов применялся гранитный кубовидный щебень фракции 10–15 мм и мастика МГБЭ М-85 [8]. Составы смесей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы смесей для испытаний

Номер состава	Содержание, %			Вид применяемой геосетки
	щебня	мастики	волокна	
Базовый	70,0	30,0	–	–
1	75,0	24,90	0,10	ГСС
2	70,0	29,85	0,15	
3	65,0	34,75	0,25	
4	75,0	24,90	0,10	
5	70,0	29,85	0,15	
6	65,0	34,75	0,25	
7	70,0	29,85	0,15	ГССТ
8	70,0	29,85	0,15	СШ
9	70,0	29,85	0,15	БД
10	70,0	29,85	0,15	БС

Примечание – В составах 1–3, 7–10 использовалось стекловолокно [9], в составах 4–6 – полипропиленовое волокно [15].

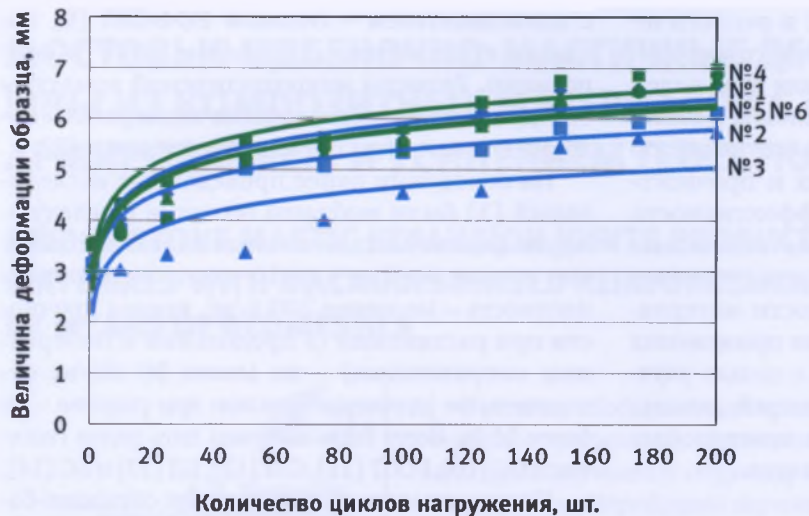
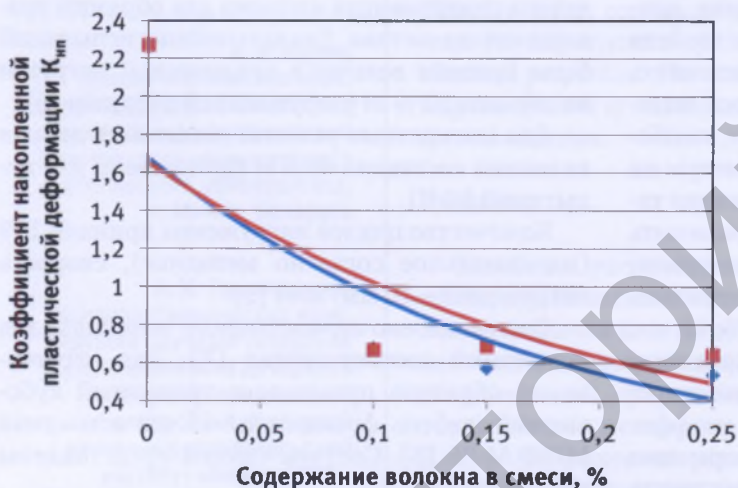


Рисунок 1 – Результаты испытаний смесей разных составов



Красный – синтетическое волокно; синий – стекловолокно

Рисунок 2 – Зависимость коэффициента накопленной пластической деформации $K_{нп}$ от содержания волокна в смеси



Рисунок 3 – Зависимость коэффициента накопленной пластической деформации $K_{нп}$ от характеристик армирующей прослойки

Испытание базового состава ЦМДШ позволило определить величину коэффициента накопленной пластической деформации $K_{нп} = 2,25$.

На рисунке 1 представлены зависимости деформирования образцов от количества циклов нагружения с различным содержанием волокна в смеси при использовании одинаковой геосетки для армирования.

Это позволило построить график зависимости коэффициента $K_{нп}$ от содержания волокна в смеси (рис. 2).

Аналогично были определены зависимости деформирования образцов с различными видами геосеток от количества циклов нагружения образцов. Во всех смесях с геосетками принята волокнистая добавка – стекловолокно [9] с содержанием 0,15 %.

Ограничение дозировки принято с целью более полного выявления эффекта от усиления геосетками.

Анализ данных позволил установить зависимость изменения $K_{нп}$ от относительного удлинения волокон материала геосетки при разрыве (рис. 3). Характеристика применяемых геосеток представлена в таблице 2.

Полученные результаты измерений деформаций и их математическая обработка (программный комплекс Excel) позволили установить зависимость между содержанием волокна в смеси и коэффициентом накопленной пластической деформации $K_{нп}$ по формуле

$$K_{нп} = 1,66e^{5,24a}, \quad (2)$$

где a – содержание волокна в смеси, %.

Установлено, что наилучшие результаты достигаются при содержании волокна в смеси более 0,25 %. При этом следует отметить преимущество стекловолокна перед синтетическими

Таблица 2 – Характеристика применяемых геосеток (паспортные данные)

Вид геосетки	Относительное удлинение волокон геосетки при разрыве, %
БД	3
БС	4
ГССТ	5
СШ	7
ГСС	10

волоконми, что коррелируется с результатами исследований [2].

Аналогично определена зависимость между относительным удлинением волокон геосетки при разрыве и $K_{\text{нп}}$ по формуле

$$K_{\text{нп}} = 0,15 \ln(b) + 0,35, \quad (3)$$

где b – относительное удлинение геосетки при разрыве, %.

Анализ полученной зависимости показывает, что наилучших результатов можно достичь при уменьшении относительного удлинения волокон геосетки до значений 3 %–5 %, которые наиболее характерны для базальтовых сеток.

Список использованной литературы

1. Деформационные швы мостовых сооружений. Правила устройства : ТКП 318-2011 / Департамент «Белавтодор». – Минск, 2011. – 43 с.
2. Акулич, А. В. Структура и свойства дисперсно-армированных асфальтобетонов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / БПИ. – Минск, 1987. – 27 с.
3. Смыковский, А. И. Усиление асфальтобетонных дорожных покрытий армированием геосетками : автореф. дис. ... канд. техн. наук / БГТУ. – Брест, 2005. – 23 с.
4. Смеси битумные. Методы испытаний горячих асфальтобетонных смесей. Часть 24. Определение усталостной прочности : СТБ EN 12697-24-2011 / Госстандарт. – Минск, 2011 – 45 с.
5. Безухов, Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М. : Высшая школа, 1987. – 147 с.
6. Ребиндер, П. А., Сегалова, Е. Е. Исследование упруго-пластичновязких свойств структурированных дисперсных систем // ДАН СССР. – 1950. – Т. 21. – № 1. – С. 85–89.
7. Пат. 16802 Республика Беларусь, МПК Е 01С 11/02. Герметизирующий материал для устройства деформационных швов [Текст] / Наумовец А. Н., Цыганок Ю. М., Бусел А. В., заявитель и патентообладатель государственное предприятие «БелдорНИИ». – № а 20110700 ; заявл. 19.05.2011 ; опубл. 28.02.2013, Бюл. № 1.
8. Мастика герметизирующая битумно-эластомерная. Технические условия : СТБ 1092-2006 / Госстандарт. – Минск, 2006. – 26 с.
9. ОАО «Полоцк-Стекловолокно» : описание продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.polotsk-psv.by/rus/about4.php>. – Дата доступа : 12.03.2010.
10. Сетка синтетическая ГСС. Технические условия : ТУ ВУ 81200737.003-2013 / ООО «Машина-ТСТ». – Могилев, 2013. – 14 с.
11. Сетка синтетическая ГССТ. Технические условия : ТУ ВУ 81200737.004-2011 / ООО «Машина-ТСТ». – Могилев, 2011. – 16 с.
12. Сетка штукатурная СШ. Технические условия : ТУ ВУ 81200737.005-2012 / ООО «Машина-ТСТ». – Могилев, 2012. – 9 с.
13. Сетка базальтовая дорожная БД. Технические условия : ТУ ВУ 81200737.006-2012 / ООО «Машина-ТСТ». – Могилев, 2012. – 16 с.
14. Сетка базальтовая строительная БС. Технические условия : ТУ ВУ 81200737.008-2012 / ООО «Машина-ТСТ». – Могилев, 2012. – 12 с.
15. Волокно полипропиленовое для строительных работ «Композит». Технические условия : СТО (РФ) 605756607-002-2011 / ООО «Оргтехстрой». – Москва, 2011. – 18 с.

Статья поступила в редакцию 11.02.2015

Заключение

Решение системы уравнений (2) и (3) относительно $K_{\text{нп}}$ позволяет на практике определять материалы, пригодные для улучшения свойств ЩМДШ:

$$\begin{cases} K_{\text{нп}} = 1,66e^{-5,24a}, \\ K_{\text{нп}} = 0,15 \ln(b) + 0,35. \end{cases} \quad (4)$$

При проектировании швов мостовых сооружений на грузонапряженных дорогах требуется применять ЩМДШ с характеристикой $K_{\text{нп}} \leq 0,6$, т. е. с жесткостью до 4 раз большей, чем у традиционных составов с $K_{\text{нп}} = 2,25$. Это требуется исходя из необходимости увеличения сроков службы шва с традиционных 1–1,5 лет до межремонтных сроков службы асфальтобетонных покрытий – не менее 6 лет. В этом случае для макродисперсного армирования следует использовать стекловолокно с содержанием 0,3 % и для усиления – базальтовые геосетки с характеристикой относительного удлинения волокон при разрыве не более 4 %.

На дальнейших этапах исследования следует выполнить опытную апробацию полученных результатов исследований в полевых условиях.