

ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА АРМИРОВАННЫХ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ ШВОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Начальник лаборатории **А.Н. Наумовец**
(Государственное предприятие «Гордорматериалы»),
канд. техн. наук, доцент **Т.А. Чистова**
(Белорусский национальный технический
университет (БНТУ))
Контактная информация: evsikovaanna@mail.ru;
tatchistova@icloud.com

В статье предложена технология устройства деформационного шва с щебеночно-мастичным заполнителем. Для изготовления щебеночно-мастичных швов используются дисперсно-армированный композит с прослойкой в виде геосинтетической сетки. Данная конструкция способна выдерживать повышенные деформации от перемещений пролетных строений мостов и действие динамической транспортной нагрузки. Технология устройства щебеночно-мастичных швов обеспечивает выполнения работы при низких температурах окружающей среды. Разработанная методика контроля качества устроенных швов позволяет оценить устойчивость материала в заполнении шва в условиях его эксплуатации.

Ключевые слова: деформационный шов заполненного типа, щебеночно-мастичный заполнитель, дисперсная арматура, напряженно-деформированное состояние, энергия деформирования.

ВВЕДЕНИЕ

Щебеночно-мастичные швы имеют широкое распространение на мостах и путепроводах в Республике Беларусь. Их состояние не всегда удовлетворяет условиям комфортного и безопасного проезда транспортных средств. Это обусловлено тем, что качество применяемых материалов, а также традиционная технология устройства таких швов, основанная на раздельном нагреве и распределении мастики и щебня, во многом зависят от температуры окружающей среды, опыта работы исполнителей, при этом не всегда обеспечивается требуемое качество. Даже при хорошем исполнении щебеночно-мастичные швы не выдерживают возросшей транспортной нагрузки. В связи с этим было предложено дисперсно армировать материал заполнения швов и укладывать геосетку для

предупреждения пластических деформаций. Устройство таких швов, особенно в осенне-зимний период, требует применения специальной технологии, а для оценки их качества необходима оперативная оценка свойств материала, уложенного в слой заполнения.

Теоретические предпосылки создания композитного материала для заполнения шва

Деформационные швы заполненного типа являются наиболее уязвимым местом мостовых конструкций, в них сосредотачиваются линейные деформации пролетных строений, что сопровождается существенным повышением напряжений в их элементах, передачей на щебеночно-мастичный материал значительных деформаций, обуславливая быстрое образование и накопление недопустимых дефектов [1]. Для повышения устойчивости деформационных швов в условиях действия интенсивной транспортной нагрузки возникла необходимость улучшить физико-механические и реологические свойства щебеночно-мастичного композита.

Механические и другие свойства дисперсно-армированного щебеночно-мастичного материала определяются в первую очередь прочностью связи на границе минеральных материалов с вяжущим веществом и также сцеплением дисперсной арматуры с компонентами заполнения [2].

В связи с этим основной функцией битумных мастик, применяемых для устройства деформационных швов, является обеспечение сцепления как с поверхностью минерального наполнителя, так и с армирующими материалами. В органических вяжущих адгезионные качества определяются функциональными группами, входящими в состав молекул: например, гидроксильная – OH, карбоксильная – COOH, нитрильная – NO₂ и др. Ранее проведенные исследования показали, что такие вяжущие способны к прочной адгезии Е-стекла, которое предлагается в качестве дисперсной арматуры [3].

Макродисперсное армирование битумных композиций [4] позволяет достигнуть долговременного эффекта повышения их работоспособности. Армирование слоев дорожной одежды геосетками [5] позволило уменьшить появление остаточных деформаций в асфальтобетонных покрытиях, поэтому данные технические решения перспективны и для слоев заполнения в щебеночно-мастичных деформационных швах.

Опытно-технологические и внедренческие работы

Долговечность и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичного шва определяются и рациональной технологией производства.

Проблемным вопросом устройства щебеночно-мастичных швов является достижение однородности композиционного материала-заполнителя в предложенной армированной конструкции (**рис. 1**) и оценка качества материала уложенного в слой заполнения.

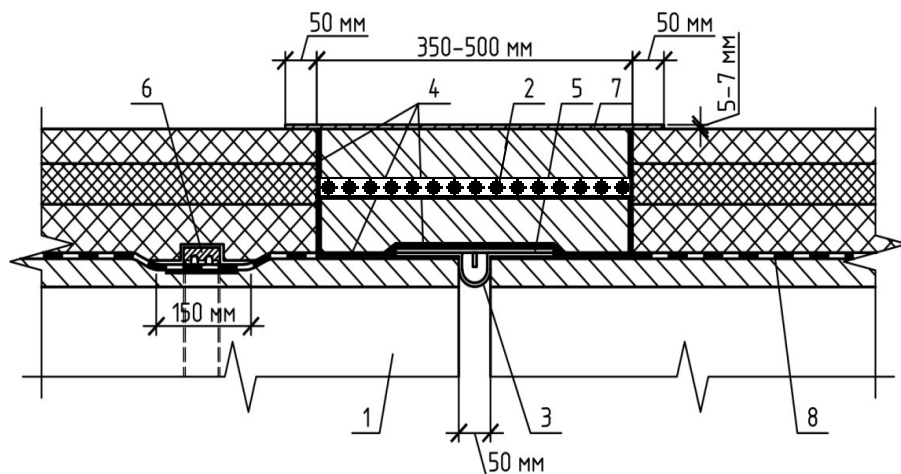


Рис. 1. Деформационный шов на мостовых сооружениях со щебеночно-мастичным заполнением из эластичных армированных композиционных материалов:

1 – пролетное строение; 2 – щебеночно-мастичное заполнение с уложенной геосеткой; 3 – резиновый лоток; 4 – битумно-эластомерная мастика; 5 – металлическая пластина; 6 – дренаж; 7 – слой износа; 8 – гидроизоляция

Для решения поставленной первой задачи была разработана технология приготовления дисперсно-армированных щебеночно-мастичных материалов в комбинированной дорожной машине КДМ-150.

В данную машину подавали щебень, который нагревали при перемешивании до 180 – 190 °С, после чего загружали рубленое волокно из Е-стекла и продолжали перемешивание в течение 5 минут. Одновременно производили разогрев битумно-эластомерной мастики до рабочей температуры на специальном оборудовании беспламенного нагрева при постоянном контроле температурного режима. Затем выполняли загрузку разогретой мастики в котел машины КДМ-150 и продолжали перемешивание до получения однородной массы. Соотношение мастики к щебню составляло 1:3, количество волокна – 0,3-0,5 % от массы мастики. Полученная таким образом смесь имела температуру 170-180 °С и была достаточно устойчива к перепадам температуры внешней среды при подготовке штрабы деформационного шва.

Полость деформационного шва заполняли щебеночно-мастичной смесью до половины глубины и уплотняли вибротрамбовкой. Поверх устроенного слоя на всю ширину укладывали армирующую прокладку из геосетки, которая надежно фиксировалась в слое материала за счет проникания зерен щебня в ее ячейки.

Далее по устроенной прослойке повторно производили распределение щебеночно-мастичного материала до тех пор, пока шов не будет полностью заполнен до требуемого уровня после уплотнения.

Затем через 12 ч при помощи газовой горелки выполняли подогрев поверхности материала заполнения до температуры плавления мастики. Далее осуществляли подгрунтовку, используя горячую мастику с расходом 1 кг/м² по поверхности шва и прилегающей зоны дорожного покрытия (по 5 см с каждой стороны), с последующей посыпкой горячей поверхности щебнем фракции 2,5 – 5,0 мм, нагретым до температуры 150 °С – 160 °С, с одновременным уплотнением виброплитой.

Опытно-технологические работы по устройству щебеночно-мастичного деформационного шва с армирующим материалом были выполнены на путепроводе на автомобильной дороге М1/Е30 (км 356+673, московское направление) в ноябре 2010 г. при температуре 0 °С. На этом объекте применялись следующие материалы: битумно-эластомерная мастика марки МГБЭ Ш-90; рубленое волокно из Е-стекла длиной 12 мм и диаметром 13 мкм; щебень фракций 10 – 15 мм и 2,5 – 5,0 мм. Соотношение мастики к щебню составляло – 1:3, количество волокна – 0,3-0,5 % от массы мастики. В июне 2011 г. было проведено обследование устроенного деформационного шва (**рис. 2**), которое показало, что он находится в хорошем состоянии, видимые дефекты и деформации отсутствуют [2].



Рис. 2. Щебеночно-мастичный деформационный шов с армирующим материалом после эксплуатации в течение 7 месяцев

Визуальное наблюдение за поведением опытного шва под интенсивной транспортной нагрузкой позволило оценить его высокую устойчивость.

Данная технология нашла свое отражение в технологической карте (ТК 190638734-278-2019) «Устройство деформационных швов со щебеночно-мастичным заполнением из эластичных армированных композиционных материалов», которая позволила выполнить внедренческие работы при реконструкции автомобильной дороги М6 Минск-Гродно, где швы устраивались при отрицательной температуре, до минус 10 °С.

Методика оценки качества материала, уложенного деформационного шва

Деформационные швы непосредственно контактируют с асфальтобетонным покрытием, поэтому материал заполнения шва должен воспринимать транспортную нагрузку аналогично, как и рядом расположенный асфальтобетон.

К одним из основополагающих свойств, присущих асфальтобетонам, является способность к вязкой деформации при нагружении. Это реологическое свойство предложено измерять с помощью прибора ИПМ-1 (рис. 3), действие которого основано на динамическом воздействии индентора на материал.



Рис. 3. Прибор «ИПМ-1»

Характеристики материала фиксируются параметрами ударного импульса.

Модель взаимодействия индентора с материалом представлена на рис. 4.

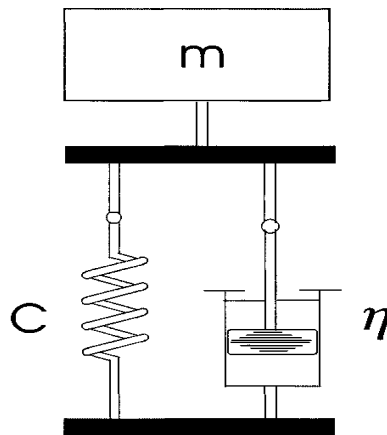


Рис. 4. Модель взаимодействия индентора с материалом

В рассматриваемом случае для ее описания пригодно линейное однородное дифференциальное уравнение вида:

$$m\alpha'' + \eta\alpha' + c\alpha = 0, \quad (1)$$

где

m – масса индентора;
 η – коэффициент вязкости;
 c – коэффициент жесткости.

Если рассматривать процесс внедрения индентора как периодическое движение, то решая уравнение при соответствующих начальных условиях:

$$\alpha_{t=0} = 0, \quad \frac{d\alpha}{dt}_{t=0} = V_0, \quad (2)$$

где

V_0 – предупредная скорость индентора,

можно получить уравнение движения:

$$\alpha(t) = \frac{V_0}{\omega} e^{pt} \sin(\omega t); \quad (3)$$

$$p = \frac{\eta}{2m}, \quad \omega = \sqrt{\frac{c}{m} - p^2}. \quad (4)$$

При этом считается, что круговая частота колебаний ω близка к частоте недемпфированной системы $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ и представляет собой приведенную частоту ударного импульса: $\omega_0 = \frac{\pi}{t_{уд}}$. В соответствии с чем коэффициент жесткости материала определяется по формуле:

$$c = \frac{m\pi^2}{t_{уд}^2}, \quad (5)$$

где

$t_{уд}$ – длительность удара.

Выражение для коэффициента вязкости определится следующим образом:

$$\eta = \frac{m}{t_{уд}} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right), \quad (6)$$

где

V – скорость отлета индентора после нарушения контакта.

Хотя метод позволяет определить как упругие, так и вязкие свойства, тем не менее, коэффициенты жесткости c и вязкости η являются механическими, а не физическими параметрами и зависят от условий испы-

таний (величины внедрения индентора, скорости деформирования). Поэтому они, хотя и имеют корреляционную зависимость с физическими характеристиками, но чаще используются для сравнительных испытаний различных материалов. Кроме того, метод позволяет получить представление о возможном поведении материала в процессе эксплуатации, определить его преимущества и недостатки, дает возможность изучать сопротивление деформированию в условиях объемного напряженного состояния, характерного для материалов, работающих под действием контактных нагрузок.

На контрольных строительных объектах изучали реологические характеристики асфальтобетона и материала заполнения деформационного шва (**рис. 5**). Результаты испытаний представлены в **табл. 1**.



Рис. 5. Исследование с помощью прибора ИПМ-1 деформационных характеристик материала заполнения шва

Таблица 1

Результаты испытаний методом динамического индектирования на объекте автомобильной дороги М-6, путепровод, км 11

<i>Образец и точка деформирования</i>	<i>Покрытие из асфальтобетона</i>			<i>Щебеночно-мастичный шов</i>		
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Максимальное внедрение, мкм</i>	51,96	00,07	55,51	59,32	52,85	812,83
<i>Время удара, мкс</i>	54,0	77,0	58,0	44,0	52,0	704,0
<i>Время активного этапа удара, мкс</i>	49,43	68,94	44,46	52,53	27,52	341,76
<i>Энергия деформирования, Дж</i>	1,23	1,25	1,28	1,18	1,16	1,17
<i>Энергия упругого деформирования, Дж</i>	0,16	0,12	0,15	0,06	0,06	0,07
<i>Энергия вязкого деформирования, Дж</i>	1,07	1,14	1,13	1,13	1,11	1,10
<i>Максимальное контактное усилие, кН</i>	6,35	5,52	6,22	3,02	3,23	3,08
<i>Контактное усилие при максимальном внедрении, кН</i>	5,24	4,47	5,02	2,04	2,18	2,17
<i>Вязкость по модели Максвеллу, Н*с/м</i>	4688,14	3343,68	3927,10	1693,76	1846,69	1848,93

Результаты испытаний асфальтобетона (прилегающего к шву) и материала в щебеночно-мастичном шве показали, что при сопоставимой энергии деформирования 1,25 Дж у асфальтобетона и 1,17 Дж у материала шва вязкая составляющая энергии деформирования для асфальтобетона составляет 89 % (1,11) от общей энергии, а для материала шва – 95 % (1,11), что свидетельствует о близкой деформационной устойчивости обоих материалов при динамическом нагружении. Таким образом, материал шва и прилегающий асфальтобетон в равной степени воспринимают динамическую транспортную нагрузку. При этом вязкость по Максвеллу материала шва в 2 раза меньше, что позволяет ему деформироваться при переходах температуры без трещинообразования. Кроме того, вязкость отражает способность материала к рассеиванию энергии, соответственно, в щебеночно-мастичном шве в меньшей степени происходит аккумуляция возникающих напряжений, что позволяет данному материалу надежно воспринимать циклическое воздействие транспортных средств без нарушений, о чем свидетельствуют длительные наблюдения за поведением швов в условиях интенсивного движения на автомобильной дороге М1/Е30.

Герметичность швов оценивалась при осмотре пролетных строений после нескольких лет эксплуатации шва. Так, в 2013 г. были устроены опытные швы на автомобильной дороге Р-21 Витебск – граница РФ (мост через р. Мошна в г. Лиозно, км 41,327). Общий вид устроенного деформационного шва после эксплуатации в течение 5 лет представлен на **рис. 6** и **7**. Под мостом не отмечено протечек воды и агрессивных растворов противогололедных материалов.



Рис. 6. Вид устроенного экспериментального щебеночно-мастичного деформационного шва после 5 лет эксплуатации



Рис. 7. Подмостовой осмотр после 5-летней годичной эксплуатации шва

ВЫВОДЫ

Деформационные швы, устроенные по рассмотренной технологии при низких температурах окружающей среды, доказали свою работоспособность. На них не отмечено недопустимых деформаций и протечек воды. Разработанная технология практически приемлема и может быть реализована в организациях, строящих и эксплуатирующих мосты и путепроводы. С использованием технологической карты, разработанной для организаций дорожного хозяйства Беларуси, и расценки на выполнение работ имеется возможность назначать в проекты устройство и ремонт дисперсно-армированных швов. Предложенная методика оценки качества устроенных швов позволяет контролировать уровень исполнения строительных работ и эксплуатационное состояние деформационных швов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деформационные швы автодорожных мостов: особенности конструкции и работы: учебное пособие / А.В. Ефанов, И.Г. Овчинников, В.И. Шестериков, В.Н. Макаров. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2005. – 174 с.
2. Бусел А.В. Способы повышения устойчивости деформационных швов к воздействию температуры и транспортной нагрузки / А.В. Бусел, А.Н. Евсикова // Строительная наука и техника – Министерство архитектуры и строительства РБ, – 2011. – № 5 (38). – С. 23-26.
3. Пат. 16802 Республика Беларусь, МПК E 01C11/02. Герметизирующий материал для устройства деформационных швов / А.В. Бусел, А.Н. Наумовец, Ю.М. Цыганок; заявитель и патентообладатель Республиканское дочернее унитарное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ». – № а 20110700; заявл. 19.05.2011.
4. Акулич А.В. Структура и свойства дисперсно-армированных асфальтобетонов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05. 23. 05 / Александр Викторович Акулич; БПИ. – Минск, 1987. – 27 с.
5. Смыковский А.И. Усиление асфальтобетонных дорожных покрытий армированием геосетками: автореф. дис. канд. техн. наук: 05. 23. 05 / Андрей Иванович Смыковский; БГТУ. – Брест, 2005. – 23 с.

L I T E R A T U R A

1. *Deformacionnyye shvy avtodorozhnyh mostov: osobennosti konstrukcii i raboty: uchebnoe posobie / A.V. Efanov, I.G. Ovchinnikov, V.I. Shesterikov, V.N. Makarov. – Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2005. – 174 s.*
2. *Busel A.V. Sposoby povysheniya ustojchivosti deformacionnyh shvov k vozdeystviyu temperatury i transportnoj nagruzki. / A.V. Busel, A.N. Evsikova // Stroitel'naya nauka i tekhnika – Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva RB, – 2011. – № 5 (38). – S. 23-26.*
3. *Pat. 16802 Respublika Belarus', MPK E 01S11/02. Germetiziruyushchij material dlya ustrojstva deformacionnyh shvov / A.V. Busel, A.N. Naumovec, YU.M. Cyganok; zayavitel' i paten-toobladatel' Respublikanskoe dochernee unitarnoe predpriya-tie «Belorusskij*

dorozhnyj nauchno-issledovatel'skij institut «BeldorNII». – № a 20110700; zayavl. 19.05.2011.

4. *Akulich A.V. Struktura i svojstva dispersno-armirovannyh asfal'tobetonov: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05. 23. 05 / Aleksandr Viktorovich Akulich; BPI. – Minsk, 1987. – 27 s.*
5. *Smykovskij A.I. Usilenie asfal'tobetonnyh dorozhnyh pokrytij armirovaniem geosetkami: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.05 / Andrej Ivanovich Smykovskij; BGTU. – Brest, 2005. – 23 s.*

.....

**INSTALLATION TECHNOLOGY OF REINFORCED STONE-
MASTIC JOINTS AT LOW AMBIENT TEMPERATURES AND
ASSESSMENT OF THEIR QUALITY**

*Head of Laboratory A.N. Naumovets
(State Enterprise «Gordormaterialy»),
Ph. D. (Tech.), Associate Professor T.A. Chistova
(Belarusian National Technical University (BNTU))
Contact information: evsikovaanna@mail.ru;
tatchistova@icloud.com*

The article proposes a technology of installation of expansion joint with stone-mastic filler. A dispersed-reinforced composite with a layer in the form of a geosynthetic mesh is used for realizing stone-mastic joints. This construction is able to withstand increased deformations from the movements of bridge spans and the effect of dynamic transport load. The technology of installation of stone-mastic joints ensures the performance of work at low ambient temperatures. The developed method of quality control of the installed joints makes it possible to assess the material sustainability in filling the joint under its operating conditions.

Keywords: *expansion joint of filled type, stone-mastic filling, dispersed reinforcement, stress-strain state, deformation energy.*

Рецензент: канд. техн. наук В.А. Селивёрстов (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 31.08.2021 г.