

## **Улучшенные щебеночно-мастичные деформационные швы и контроль их качества**

Наумовец А.Н. – начальник испытательной лаборатории ГП  
«Гордорматериалы»

Введение. Щебеночно-мастичные швы имеют широкое распространение на мостах и путепроводах в Республике Беларусь. Их состояние не всегда удовлетворяет условиям комфортного и безопасного проезда. Это обусловлено тем, что применяемые материалы и традиционная технология их устройства, основанная на раздельном нагреве и распределении мастики и щебня, во многом зависит от температуры окружающей среды, опыта работы исполнителей и не всегда обеспечивает требуемое качество. Даже при хорошем исполнении эти швы не выдерживают возросшей транспортной нагрузки. В связи с этим было предложено дисперсно армировать материал заполнения швов и укладывать геосетку для воспрепятствования пластическим деформациям. 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, что приводит к быстрому образованию и накоплению 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 - NO<sub>2</sub> 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 технического решения перспективны и для слоев заполнения в щебеночно-мастичных деформационных швах.

Опытно-технологические и внедренческие работы. Долговечность и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичного шва определяется 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.

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

В нее подавали щебень, который нагревали при перемешивании до 180 - 190 °С, после чего загружали рубленое Е-стекла и перемешивание продолжали 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.

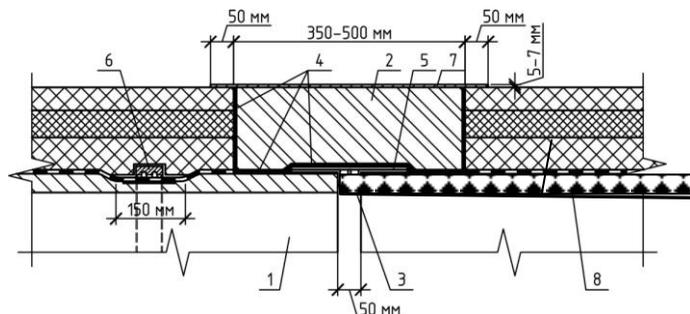


Рис. 1. Деформационный шов на мостовых сооружениях со щебеночно-мастичным заполнением из эластичных армированных композиционных материалов.

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

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.

Через 12 часов выполняли подогрев поверхности материала заполнения газовой горелкой до температуры плавления мастики и выполняли подгрунтовку горячей мастикой с расходом 1 кг/м<sup>2</sup> 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) ноябре 2010 года при темпера-

туре 0оС. На этом объекте применялись: 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. Наблюдение поведением опытного шва под интенсивной транспортной нагрузкой позволило оценить его высокую устойчивость.

Методика оценки качества материала, уложенного деформационный шов. 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.2), действие которого основано на динамическом воздействии индентора на материал.

Характеристики материала фиксируются параметрами ударного импульса.



Рис. 2. Прибор «ИПМ-1»

Модель взаимодействия индентора с материалом представлена на рисунке 3.

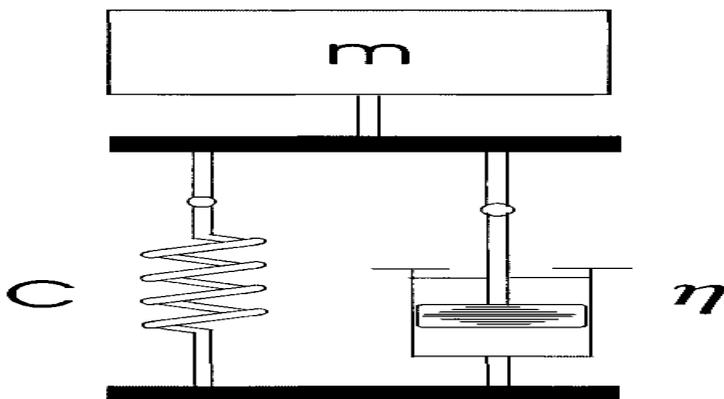


Рис.3. Модель взаимодействия индентора с материалом

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

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

где  $m$  - масса индентора;  
 $\eta$  - коэффициент вязкости;  
 $c$  - коэффициент жесткости.

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

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

где  $V_0$  - предупредная скорость индентора, можно получить уравнение движения:

$$\alpha(t) = \frac{V_0}{\omega} e^{-\eta t} \sin(\omega t), \quad (3)$$

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

При этом считается, что круговая частота колебаний близка к частоте недемпфированной системы и представляет собой приведенную частоту ударного импульса.

В соответствии с чем коэффициент жесткости материала определяется по формуле:

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

где  $t_{\text{уд}}$  - длительность удара.

Выражение для коэффициента вязкости определится следующим образом:

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

где  $V$  - скорость отлета индентора после нарушения контакта.

Представленный 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. 4). Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Результаты испытаний асфальтобетона (прилегающего к шву) и материала в щебеночно-мастичном шве показали, что при сопоставимой энергией 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.



Рис. 4. Исследование с помощью прибора ИПМ -1 деформационных характеристик

Таким образом, материал шва и прилегающего асфальтобетона 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.

Таблица 1. Результаты испытаний методом динамического индексирования на объекте автодороги М-6, путепровод, км 11

Образец и точка деформирования	Покрытие асфальтобетона			Щебеночно-мастичный шов		
Максимальное внедрение, мкм	351,96	400,07	355,51	859,32	652,85	812,83
Время удара, мкс	254,0	277,0	258,0	544,0	552,0	704,0
Время активного этапа удара, мкс	149,43	168,94	144,46	352,53	327,52	341,76
Энергия деформирования, Дж	1,23	1,25	1,28	1,18	1,16	1,17
Энергия упругого деформирования, Дж	0,16	0,12	0,15	0,06	0,06	0,07
Энергия вязкого деформирования, Дж	1,07	1,14	1,13	1,13	1,11	1,10
Максимальное контактное усилие, кН	6,35	5,52	6,22	3,02	3,23	3,08
Контактное усилие при максимальном внедрении, кН	5,24	4,47	5,02	2,04	2,18	2,17
Вязкость по модели Максвеллу, Н*с/м	4688,14	3343,68	3927,10	1693,76	1846,69	1848,93

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 автодороге М1/Е30 .

### **Выводы.**

Деформационные швы, устроенные по предложенной 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. Имеющаяся технологическая карта, разработанная для организаций дорожного хозяйства Беларуси, и расценка на выполнение работ позволяют закладывать 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.И. Макаров. Учебное пособие для студентов специальностей 291000, 291100 ; Саратов 2005.
2. Бусел А.В., Евсикова А.Н. Способы повышения устойчивости деформационных швов к воздействию температуры и транспортной нагрузки», Строительная наука и техника – Министерство архитектуры и строительства РБ, № 5 (38), 2011 – с. 23-26.
3. Патент РБ № 16802 Герметизирующий материал для устройства деформационных швов / Бусел А.В, Наумовец А.Н., Цыганок Ю.М., 2012.
4. Акулич А. В. Структура и свойства дисперсно-армированных асфальтобетонов // Автореф. диссерт. канд. техн. наук. / БПИ. – Минск, 1987. – 27 с.
5. Смыковский А.И. Усиление асфальтобетонных дорожных покрытий армированием геосетками // Автореф. дисс. канд. техн. наук / БГТУ. – Брест, 2005. – 23 с.