

Овчинников Илья Игоревич

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Сочинский филиал
Доцент
Ovchinnikov Ilya Igorevich
Docent
E-Mail: bridgeart@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Сочинский филиал
Профессор
Ovchinnikov Igor Georgievich
Professor
E-Mail: bridgesar@mail.ru

Валиев Шерали Назаралиевич

Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)
Доцент
Valiev Sheraly Nazaralievich
Docent
mosti.madi@mail.ru

05.23.11. Проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей

**Анализ причин повреждения деформационных швов типа МММ Д-50 и
МММ Д-100 на мостовых сооружениях Автомобильной дороги М-4 «ДОН»**

Analysis of the causes damage to joints such as d mmm MMM-50 and D-100 on the
bridge constructions of highways M-4 "DON"

Аннотация: Рассматриваются и анализируются возможные причины появления повреждений в деформационных швах типа Маурер на участке автодороги «М-4 Дон». Отмечается, что основные повреждения развились в зонах дорожного покрытия, прилегающих к деформационным швам. Причинами этих повреждений являются – некачественная анкеровка деформационных швов, образование колеи вследствие повышения интенсивности движения, значительные различия в жесткости элементов деформационных швов и прилегающих зон дорожного покрытия.

Abstract: Reviewed and analyzed the possible causes of damage to the expansion joints type Maurer on the part of the road "M-4 Don". It is noted that the main damage developed pavement in areas adjacent to the expansion joints. The causes of these injuries are - poor quality anchoring joints, rutting due to the increase in traffic, the significant difference in the stiffness of the elements of expansion joints and adjacent areas of pavement

Ключевые слова: Мост; деформационный шов; повреждения; колея.

Keywords: Bridge; expansion joint; damages; track.

Введение

Деформационные швы являются неотъемлемой частью мостового сооружения. При возникновении отказов в их работе, быстро прогрессирует разрушение других элементов, что резко снижает долговечность всего моста и комфортность движения по сооружениям [1].

Деформационные швы являются статически и динамически нагруженными элементами мостов. Они непосредственно подвержены воздействию как температурных, угловых и линейных перемещений, так и непосредственному контакту с колесами транспортных средств, и силам и воздействиям от их комбинации [2, 3]. Они должны быть устойчивыми как к механическим воздействиям (динамике, ударам, усталости, истиранию), так и химико-физическим воздействиям (зимним реагентам, перепадам температуры). Для того чтобы деформационные швы успешно справлялись с нагрузками и воздействиями, к их конструкции должны предъявляться высокие требования, такие как [4,5,6,7]:

- долговечность и надежность;
- обеспечение герметичности (на нижележащие конструкции не должна попадать вода);
- восприятие необходимых температурных перемещений во всех направлениях;
- обеспечение комфортных условий движения через шов;
- устойчивость шва к динамическому воздействию от транспорта;
- устойчивость конструкции к химическому воздействию.

В соответствии с требованиями Гражданского кодекса РФ (статья 757) гарантийный срок службы изделий (в том числе и деформационных швов) составляет 5 лет, если другое не оговорено в проектных документах.

На автомобильной дороге М-4 «Дон» от Москвы через Воронеж, Ростов-на-Дону, Краснодар до Новороссийска км 225,6 – км 414,7 на участке обхода г. Ефремов (км 287,8-321,3) в Тульской области в период с июля 2008 по май 2010 был построен ряд мостовых сооружений с деформационными швами. Начало эксплуатации мостовых сооружений – май 2010 года. Пролётные строения мостов состоят из сборных железобетонных балок длиной 24 м и 33 м., объединенных по плите проезжей части в температурно-неразрезные плети длиной до 99м. На пролётных строениях установлены деформационные швы типа МММД-50 и МММД-100. Каждый деформационный шов (ДШ) состоит из двух стальных поперечных балок уголкового сечения, между которыми расположен гибкий ленточный компенсатор. Поперечные балки прикреплены анкерами к монолитной железобетонной плите пролётного строения.

После полутора лет эксплуатации мостов были обнаружены значительные разрушения и деформации ряда деформационных швов. Поэтому с целью выяснения причин преждевременного разрушения деформационных швов и около шовных зон покрытия проезжей части была проведена диагностика и последующий анализ технического состояния деформационных швов мостов и путепроводов.

Ниже, в табл. 1 приведен перечень мостовых сооружений с поврежденными деформационными швами.

Таблица 1

Перечень мостовых сооружений с поврежденными деформационными швами

№ п./п	Наименование	Пикет	КМ	Длина, м	Схема	Длина плетей	Габарит
1	Мост через ручей Голубки	ПК19+11,1	298+318	185,37	24+4x33 + 24	(МММ100) 90 (МММ100) 90 (МММ100)	2(Г-13 + 0,75)
2	Мост через балку Попов Верх	ПК 34+92	300+00	227,43	24+6x33	(МММ100) 99м (МММ100) 66 м (МММ100) 57 м (МММ100)	2(Г-14 + 0,75)
3	Мост через р. Красивая Меча	ПК145+55	302+355	137,27	4x33	(МММ100) 132 м (МММ100)	2(Г-11,5 + 0,75)
4	Мост	ПК 223+94	318+797	198,38	5x33+24	(МММ50) 99 м (МММ100) 90м (МММ50)	2(Г-11,5 + 0,75)
5	Мост через р. Любашевка	ПК235+74	320+008	134,32	2x24 + 33 + 2x24	(МММ100) 129 м (МММ100)	2(Г-11,5 + 0,75)
6	Мост	ПК248+94	321+325	137,28	4x33	(МММ100) 132 м (МММ100)	2(Г-11,5 + 0,75)

Как показал анализ, процесс разрушения начинается с образования трещины на стыке покрытия и деформационного шва. Затем, вследствие повышенного динамического воздействия на покрытие и элементы деформационного шва со стороны проходящих транспортных средств происходит образование выбоин в покрытии в этой зоне, (рис. 1). Далее следует закономерное разрушение деформационного шва.



Рис. 1. Начальный этап разрушения (мост через ручей Голубки км 298+318)

Причиной повышенного динамического воздействия является разность высот между верхней поверхностью деформационного шва и поверхностью покрытия проезжей части («ступенька»).

В местах дорожного покрытия, непосредственно прилегающих к деформационным швам, обнаружены глубокие трещины, истирание поверхности до 3 см и впадины, из которых автотранспортом выбиты крупные куски асфальтобетона. Такое состояние деформационных швов и прилегающих к ним участков дорожного покрытия является опасным для автотранспорта и может стать причиной серьезных аварий.

При выборе и устройстве конструкций деформационных швов (ДШ) необходимо знать, в первую очередь, расчетные величины перемещений концов пролетных строений и допустимые перемещения для конструкций.

При определении перемещений концов пролетных строений с целью подбора конструкции ДШ, на стадии проектирования при расчете деформационного шва необходимо учесть все факторы, влияющие на работу шва (температурное воздействие, действие нагрузки, кососимметричные перемещения пролетных строений, вертикальные перемещения). Крепежные элементы, анкера и сварные швы, крепления анкеров или ребер к окаймлению, поперечные и продольные балки, на которые передается непосредственно усилие от колес автомобилей, должны рассчитываться на выносливость и усталость под действием нагрузки АК. Неучет указанных факторов может привести к неправильному выбору конструкции деформационного шва, что в свою очередь, может привести к раннему разрушению конструкций швов, ухудшению условий движения по мосту.

Анализ поведения деформационного шва (на примере моста через р. Любашевка)

На мосту через р. Любашевка (км 320+008) наблюдается значительное раскрытие шва (до 9,6 см) в холодное время года (рис. 2).



Рис. 2. Значительное раскрытие шва при отрицательных температурах

Определим полное температурное перемещение свободного конца пролётного строения, используя формулу [2]:

$$\Delta_T = \gamma_T \cdot \alpha \cdot L \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где γ_T – коэффициент надежности для температурных воздействий;

α – коэффициент линейного температурного расширения, K^{-1} ;

L – расчетная длина конструкции пролётного строения, с которой собираются перемещения (расчетная длина неразрезной «цепи» пролётных строений);

ΔT – интервал изменения расчётных температур от T_{\min} до T_{\max} с учетом увеличения данного интервала вследствие прогрева конструкции солнцем, в том числе неравномерного, и неодинакового распределения температур по сечению элемента.

Коэффициент надежности для температурных воздействий γ_T задается согласно п. 6.32. СП 53.13330.2011 (актуализированный СНиП 2.05.03–84* «Мосты и трубы») как для температурных климатических деформаций и воздействий и равен 1,2.

Коэффициент линейного температурного расширения α . При расчете перемещений от температурных воздействий коэффициент линейного расширения α согласно п. 6.27. СП 53.13330.2011 рекомендуется принимать для железобетонных конструкций – $1,0 \cdot 10^{-5}$.

Расчетная длина «цепи» пролётного строения моста через р. Любашевка – 129 м (схема моста – 24+24+33+24+24 м). Нормативные температуры воздуха в теплое и холодное время года следует принимать равными:

$$t_{n,T} = +40^{\circ}C; \quad t_{n,X} = -40^{\circ}C;$$

Полное температурное перемещение

$$\Delta_T = \gamma_T \cdot \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 1,2 * 0,1 * 10^{-5} * 80 = 0,012384 \text{ м} = 12,4 \text{ см.}$$

Расчетная ширина одного шва от действия температуры равна половине этой величины, то есть 6,2 см.

Величины температуры замыкания конструкций, если они не оговорены в проекте принимаются равными (в градусах Цельсия):

$$t_{3,T} = t_{n,T} - 15;$$

$$t_{3,X} = t_{n,X} + 15.$$

Следовательно, при температуре -30°C максимальное раскрытие шва (Δ_T) не должно превышать $\Delta_T = 6,5$ см, что меньше $\Delta_{\text{фактическое}} = 9,6$ см.

Кроме того по условиям комфортности проезда величина раскрытия деформационного шва не должна превышать 8,0 см, так как за счет «провала» колес автотранспорта между металлическими гранями деформационного шва увеличивается динамический коэффициент $(1+\mu)$, что является дополнительным фактором, увеличивающим воздействие нагрузки на проезжую часть моста. Этот коэффициент значительно повышается при нарушениях плавности микрорельефа из-за дефектов в зоне деформационных швов.

Следовательно, в рассматриваемом случае необходимо применить деформационные швы, обеспечивающие большее перемещение.

Заметим также, что на работу мостовой конструкции при действии вертикальных нагрузок в значительной степени влияют и вид опирания и выбранный тип опорных частей [8,9]. То есть пренебрежение проблемой корректного подбора и устройства опорных частей может привести к ухудшению работы пролетных строений.

Для температурно-неразрезной цепи необходимо устройство опорных частей, работающих на большие горизонтальные перемещения. Такие опорные части существуют – это стаканые, сферические, шаровые опорные части, но они очень дороги, а при условии установки опорных частей под каждую балку стоимость опорных частей заметно возрастает. Применение резиновых опорных частей больших размеров (РОЧ БР) может обеспечить восприятие больших перемещений при сравнительно невысокой цене по сравнению, например, со стакаными или сферическими опорными частями. Использование деформационных швов, состоящих из металлических профилей, заанкеренных в бетон, и объединенных резиновым компенсатором в местах сопряжения пролетных строений с подходами с одновременным использованием резиновых опорных частей больших размеров является весьма рациональным и эффективным решением для температурно-неразрезных цепей.

Заметим, что главным недостатком резиновых опорных частей (РОЧ) является неопределенность в распределении усилий между ними, особенно при применении многопролетных систем большого габарита (Рис. 3). Кроме этого, у РОЧ отсутствует возможность восприятия вертикальных и угловых перемещений концов пролетных строений. Это приводит к перегрузке крепления деформационных швов и к преждевременному выходу их из строя.



Рис. 3. Мост через ручей Голубки км 298+318. Деформация резиновых опорных частей

Таким образом, анализ показывает, что примененные в проекте деформационные швы плохо воспринимают горизонтальные нагрузки.

Еще одной причиной разрушения значительного количества деформационных швов (типа МММ Д-50 и МММ Д-100) является действие временной нагрузки от транспорта.

В настоящее время интенсивность движения по каждой из полос проезжей части может достигать величины 3000...5000 авт./сутки и более, вплоть до десятков тысяч. Результатом такой интенсивности движения является повышенное динамическое воздействие на деформационные швы и прилегающие к ним участки дорожной одежды, имеющее циклический характер, повторяющееся десятки тысяч раз в пределах каждой полосы движения каждые сутки. Как следствие в результате естественного быстрого истирания асфальтобетонного покрытия образуется колея, глубина которой может составлять 5-10 мм. Можно предположить, что в скором времени из-за наличия колеи около трети всех конструкций деформационных швов может разрушиться под влиянием повышенных динамических воздействий. При этом совершенно не играет роли, какие именно деформационные швы установлены на мостовых сооружениях, поскольку, как показывает практика, повышенных динамических воздействий со стороны транспорта не выдерживают даже самые прочные и надежные конструкции деформационных швов.

При значительном превышении значений фактической интенсивности движения транспорта над принятыми в расчетах, происходит интенсивный износ покрытия и образуется колея [10]. Особенно это проблема проявляется на скоростных магистралях. В результате образования колеи по полосам наката в асфальтобетонном покрытии в зоне деформационных швов добавляется удар колес автотранспортных средств о торец шва (металлического окаймления). При таком воздействии нагрузки все деформационные швы, конструкция которых заанкерена в проезжую часть, очень быстро выходят из строя (рис. 4).



Рис. 4. Разрушение покрытия по полосе наката. Мост на км 318+784

Очевидно, что увеличение интенсивности движения приводит к усилению развития повреждений. При этом ясно, что плавное воздействие нагрузки при определенной частоте ее воздействия дает один результат, а ударное, возникающее после появления и развития повреждений – другой, в несколько раз превосходящий первый.

Вполне очевидно, что на данный момент подавляющее большинство попыток уменьшить появление выбоин и колеобразования в покрытии на стыке с деформационными швами, сосредоточено вокруг вопроса снижения колеобразования в покрытии, особенно в зоне примыкания к деформационному шву. Для решения этого вопроса предложены различные конструктивные решения узла примыкания покрытия мостового полотна к деформационному шву в том числе:

1. применение переходных зон;
2. применение бетонных приливов;
3. применение демпфирующих полимербетонных приливов (окаймления).

Применение переходных зон дает положительный эффект за счет использования на стыке деформационного шва и дорожной одежды мостового полотна более жесткого, износо- и трещиностойкого материала, нежели обычный асфальтобетон. Высокая сопротивляемость переходной зоны образованию колеи позволяет снизить интенсивность проявления и развития колеи.

Деформационный шов по сути дела является инородным включением в покрытие мостового полотна, и именно в этом состоит сложность обеспечения совместной работы этих элементов конструкций.

Конструктивно решение проблемы может быть получено применением переходных зон, обеспечивающих плавное или, по крайней мере, ступенчатое изменение жесткости покрытия с жесткостью конструкции деформационного шва. Жесткость асфальтобетонного покрытия (даже при самой низкой температуре, когда она наибольшая) меньше жесткости стальных элементов деформационного шва как минимум на порядок. Следовательно, переходная зона должна представлять собой конструкцию, имеющую жесткость,

изменяющуюся от жесткости покрытия до жесткости металлических элементов деформационного шва. Такая переходная зона позволит исключить или значительно снизить эффект удара при проезде транспортного средства.

Поэтому для предотвращения преждевременного разрушения переходных зон и деформационных швов, в соответствии с ОДМ 218.2.002-2009 (раздел 5 п. ж) при интенсивности движения по полосе свыше 5 тыс. автомобилей (грузовых и легковых) в сутки в примыкании покрытия к деформационному шву (к металлу или бетону) следует устраивать переходной участок шириной 30 – 50 см по всей длине шва, в котором верхний слой покрытия выполняют из более прочного материала.

В качестве материалов, применяемых, согласно ОДМ, для защиты швов типа «МАУРЕР» при перемещении более 30 мм может использоваться щебеночно-мастичный асфальтобетон, демпфированный дисперсно распределенной резиновой крошкой, полимерасфальтобетон, армированный добавками базальтового волокна (фиброй), может также применяться армирование асфальтобетонного покрытия геосетками в переходной зоне сопряжения дорожной одежды с деформационным швом, а также использование тяжелого бетона, специального бетона, высокопрочного мелкозернистого полимербетона и т.д.

По разъяснению отраслевого дорожного методического документа «Рекомендации по разработке и применению документов технического регулирования в сфере дорожного хозяйства» изданного на основании распоряжения Росавтодора от 09 июня 2010 г. № 384-р, и разработанного в соответствии с п. 3 статьи 4 Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (далее – ФЗ «О техническом регулировании») следует, что «Методические рекомендации по применению современных материалов в сопряжении дорожной одежды с деформационными швами мостовых сооружений (ОДМ 218.2.002-2009)» устанавливающие требования к строительной продукции, которые должны быть удовлетворены, является документом не рекомендательного, а обязательного (по крайней мере, для неквалифицированных организаций [11]) применения на всех этапах создания и эксплуатации строительной продукции в целях защиты прав и охраняемых законом интересов ее потребителей, общества и государства.

Следующим существенным фактором является то, что работа любого деформационного шва происходит, по сути, в экстремальных условиях – как правило, конструкция водоотвода на мосту и подходах имеет продольно-поперечный уклон, а это значит, что основная масса воды с пролетного строения и проезжей части подходов направляется в сторону деформационных швов. Поэтому деформационные швы наряду с другими воздействиями испытывают воздействие влаги, проникающей через образовавшиеся трещины между швом и покрытием. Проникая в конструкцию, вода ухудшает свойства бетона плиты проезжей части. Это может привести в дальнейшем к разрушению конструкции и деформационного шва и покрытия. В дополнение к перечисленным воздействиям, конструкции деформационных швов оказываются незащищенными от ножей снегоочистительной техники, что также не способствует их длительной сохранности в эксплуатационно-пригодном состоянии (рис. 5).



Рис. 5. Разрушение покрытия проезжей части в околошовной зоне. Мост км 300

При рассмотрении рабочих чертежей конструкции деформационного шва МММ Д – 100 (рис. 6) установлено, что в узле сопряжения покрытия с металлическим профилем шва допускается уменьшение толщины асфальтобетона. Причина здесь заключается в трудности точного определения толщины распределенного в зоне примыкания к деформационного шва асфальтобетона, которая после требуемого уплотнения обеспечит ровное сопряжение покрытия с поверхностью деформационного шва. Однако в ОДМ 218.2.002- 2009 в пункте «в» раздела 5 указано на недопущение устройства переменной толщины покрытия проезжей части моста в зоне деформационного шва (как это сделано на Рис. 5).

При анализе устройства узла крепления аналогичных конструкций деформационных швов, с балками пролетных строений, примененных в рассматриваемом проекте и аналогичном проекте узла крепления фирмы «Mauger» нужно отметить значительное отличие по количеству и объему арматуры и способу анкеровки в пользу последнего шва.

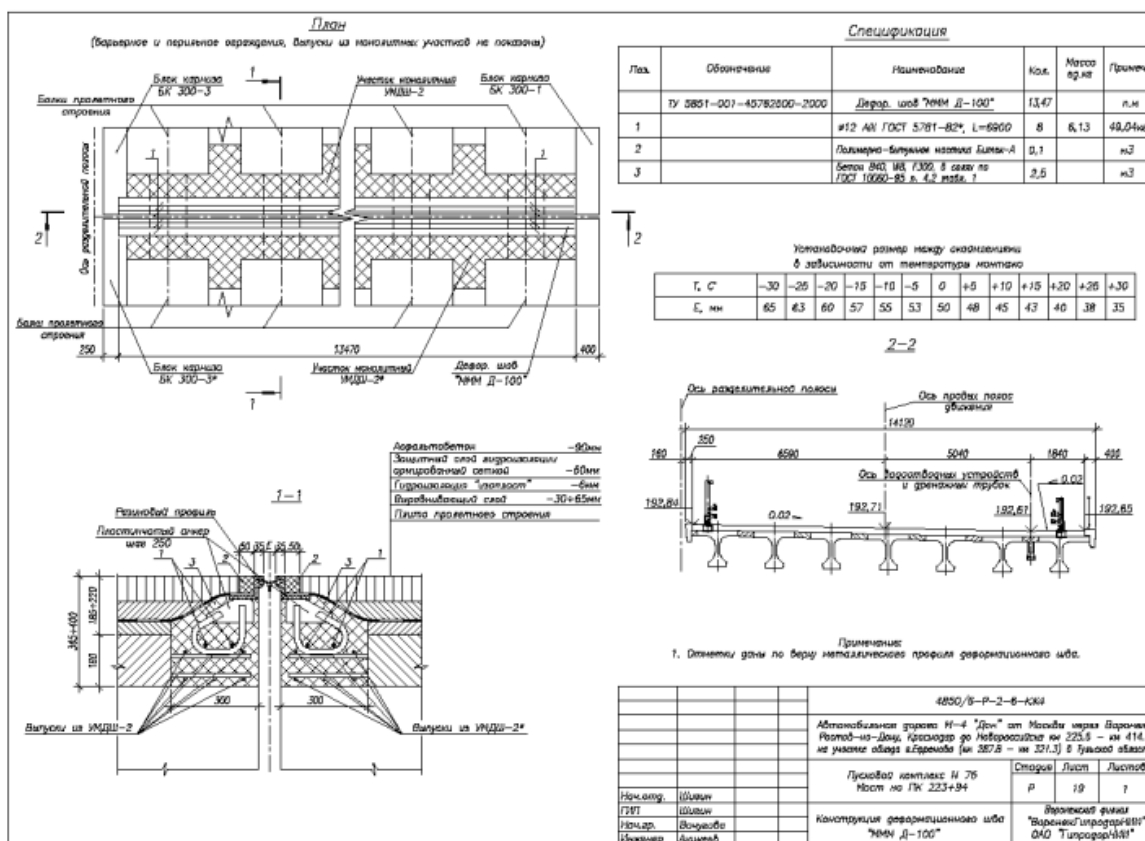


Рис. 6. Конструкция деформационного шва МММ Д-100) с раскрытием шва на 100 мм) (Рабочая документация)

В рабочих чертежах анализируемых мостов и путепроводов применены деформационные швы, основные конструкции которых производит известная немецкая фирма «Maurer» [2]. В таких деформационных швах главными несущими элементами являются анкера, которые исключают любые перемещения конструкции при ударных воздействиях автотранспортом. Анкера, с одной стороны привариваются к поперечным балкам, а с другой стороны заделываются в монолитный бетон пролетного строения (рис. 7). Фирма «Maurer» крепит деформационные швы анкерами диаметром 20 мм, которые заделываются в бетон на суммарной длине 960 мм. В рабочих же чертежах, указанных мостов анкера имеют диаметр 12 мм, которые заделаны в бетон на длине 250 мм (рис. 6). Это явно недостаточная анкеровка, что и является одной из основных причин образования больших зазоров между поперечными балками деформационных швов и дорожным покрытием.

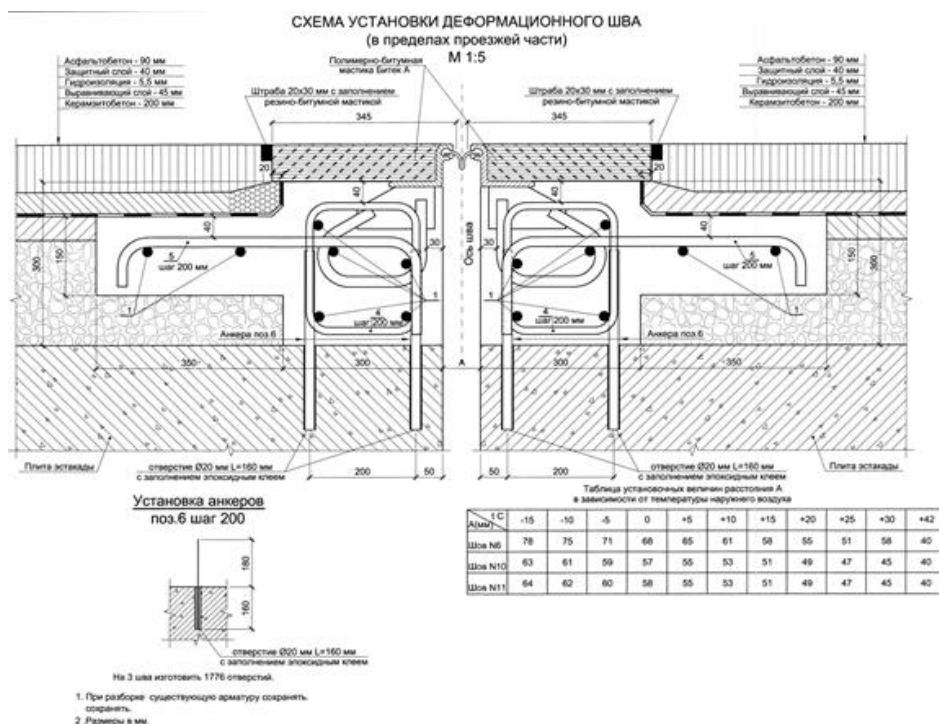


Рис. 7. Конструкций деформационного шва Maurer D80 (чертеж аналогичной конструкции фирмы «Maurer» на шов с раскрытием на 80 мм)

Выводы

1. Установлено, что после полутора лет эксплуатации мостов и путепроводов обнаружены значительные деформации и смещения стальных поперечных балок деформационных швов, истирание асфальтобетона глубиной до 3 см и глубокие трещины в зонах дорожного покрытия, прилегающих к деформационным швам. В ряде мест дорожного покрытия, прилегающих к деформационным швам, имеются выбоины глубиной до 10 см, из которых автотранспортом выбиты большие куски асфальтобетона.

2. Установлено, что причиной деформаций и разрушений, указанных выше, является применение в рабочих чертежах дорожного покрытия мостов, на участках, прилегающих к деформационным швам, обычного асфальтобетона вместо более прочных материалов, рекомендуемых и фирмой, изготовившей применённые деформационные швы, и технической и нормативной литературой для автодорог с повышенной интенсивностью движения.

3. Имеющиеся повреждения и деформации деформационных швов мостов и прилегающих к ним участков дорожного покрытия могут стать причиной серьёзных аварий автотранспорта. Необходимо срочно выполнить ремонтные работы по устранению имеющихся повреждений и обеспечить соответствие участков дорожного покрытия, прилегающих к деформационным швам, требованиям нормативных документов и современным условиям движения транспорта по загруженным федеральным дорогам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Анализ причин аварий и повреждений транспортных сооружений// Транспортное строительство. М. 2010, №7. с. 2-5.
2. Ефанов А.В., Овчинников И.Г., Шестериков В.И., Макаров В.Н.. Деформационные швы автодорожных мостов: особенности конструкции и работы: (учебное пособие). Саратов: СГТУ, 2005. – 174 с.
3. Ефанов А.В., Овчинников И.Г. Деформационные швы мостов: современное состояние проблемы// Вестник Саратовского государственного технического университета. Саратов. СГТУ 2006. №4(16), выпуск 1., с. 81 - 86.
4. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Козлачков С.В. Особенности и проблемы эксплуатации деформационных швов мостовых сооружений// Красная линия. Дороги. СПб. 2012. №58. с 52-53
5. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Отечественные деформационные швы мостовых сооружений//Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №3, [Электронный ресурс]. <http://naukovedenie.ru/ik12/12-41.pdf>. -М. с. 1- 17.
6. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Рекомендуемые конструкции деформационных швов мостовых сооружений и рациональная область их применения//Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №3, [Электронный ресурс]. <http://naukovedenie.ru/ik12/12-42.pdf>. -М. с. 1- 7.
7. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Рациональные области применения деформационных швов мостовых сооружений// Мир дорог. 2013, март, № 66, с.43-45.
8. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Овчинников И.И., Ефанов А.В., Старовойтов Г.В. Деформационные швы: влияние опорных частей и опор//Мир дорог, сентябрь 2009, №42, с.36 – 37.
9. Овчинников И.Г., Искендеров С.Э. Причины появления и развития дефектов и повреждений в опорных частях мостовых сооружений// Новые идеи нового века – 2011 : материалы Одиннадцатой международной научной конференции ИАС ТОГУ = The new Ideas of New Century 2011 : The Eleven International Scientific Conference Proceedings of IACE PNU : в 2 т. / Тихоокеанский государственный университет. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2011. – Т. 2. – 385 с. С 52-55
10. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Зинченко Е.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния многослойных конструкций при совместном действии нагрузки, температуры и агрессивной среды применительно к дорожным покрытиям на мостовых сооружениях//// Сборник ДОРОГИ и МОСТЫ. Выпуск 27. М. 2012. с. 134-151.
11. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н. Что стоит на пути внедрения инновационных технологий в транспортном строительстве//Дороги. Красная линия. 2012, №65, с. 46-48.

Рецензент: Кочетков Андрей Викторович, председатель Поволжского отделения Российской академии транспорта, академик РАТ, д-р. техн. наук, профессор.