

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2016, Том 3, №2 / 2016, Vol 3, No 2 <http://t-s.today/issues/vol3-no2.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/06TS216.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Валиев Ш.Н., Смоленкин В.С., Рыбникова Е.Б. Деформационные швы мостовых сооружений: зарубежный опыт физического моделирования // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 3, №2 (2016) <http://t-s.today/PDF/06TS216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Valiev S.N., Smolenkin V.S., Rybnikova E.B. [Expansion Joints of Bridge Structures: Foreign Experience of Physical Simulation] Russian journal of transport engineering, 2016, Vol. 3, no. 2. Available at: <http://t-s.today/PDF/06TS216.pdf> (In Russ.)

УДК 624.042

Валиев Шерали Назаралиевич

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Россия, Москва
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: Mosti.madi@mail.ru

Смоленкин Владимир Сергеевич

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Россия, Москва
Аспирант
E-mail: Atk.007@mail.ru

Рыбникова Екатерина Борисовна

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Россия, Москва
Магистр
E-mail: p.b.ekaterina@gmail.com

Деформационные швы мостовых сооружений: зарубежный опыт физического моделирования

Аннотация. В статье представлен обзор зарубежного опыта физического моделирования работы деформационных швов мостовых сооружений, приведены конкретные модели испытательных установок для различных систем.

Выявлено, что настоящее время в мостостроительной отрасли имеется достаточно много различных систем деформационных швов, каждая из которых имеет свою конструктивную особенность, условия эксплуатации. Поэтому проблема преждевременного разрушения деформационных швов стоит крайне остро. Решением данного вопроса уже заняты ряд зарубежных ученых совместно с производителями. По результатам своих испытаний многие специалисты сходятся во мнении о необходимости разработки единого метода определения качественных характеристик конкретных типов швов, а также расчетного срока их службы.

Отмечается, что стендовые испытания позволяют провести весь комплекс исследований с целью ускоренной потенциальной оценки эксплуатационных характеристик деформационных швов, что позволяет в дальнейшем совершенствовать конструкцию швов и околосшовных зон покрытия, повысить их долговечность и помочь инженерам в выборе наиболее рациональной системы швов для мостового сооружения на стадии проектирования.

Делается вывод относительно анализа зарубежных методов стендовых испытаний деформационных швов, результатом которого является разработка на полигоне МАДИ стенда

в составе испытательного комплекса КУИДМ 2 «Карусель» с целью определения выносливости металлических несущих конструкций модульных деформационных швов отечественного и зарубежного производства, а также износостойкости материалов покрытия околосшовных зон.

Ключевые слова: мост; деформационный шов; дорожная одежда; покрытие проезжей части; мостовое полотно; переходная зона; физическое моделирование; испытательный стенд

В течение многих лет преждевременные разрушения конструкций деформационных швов мостового полотна вызывают серьезные проблемы, касающиеся безопасной эксплуатации всего сооружения в целом.

Проблематикой данного вопроса уже заняты многие зарубежные ученые, инженеры и производители. В настоящее время известно много типов доступных систем деформационных швов, каждый из которых имеет свои особенности конструкции и монтажа. Производители в свою очередь заинтересованы сделать продукцию более совершенной и конкурентоспособной, разработав для таких нужд собственные установки для испытаний и моделирования работы деформационных швов, с целью ускоренной потенциальной оценки их эксплуатационных характеристик. Однако из-за того, что для проведения таких испытаний требуется большое количество времени, ни один производитель не может позволить себе предпринять долгосрочный исследовательский проект для разработки сложного испытательного аппарата или надлежащего метода испытаний деформационных швов мостового полотна.

В 1981 году инженером Козловым [2] были разработаны «машины» для испытания модульных деформационных швов в условиях, аналогичным условиям эксплуатации. Машины приводились в действие температурно-управляемыми устройствами, которые назывались «термостатическими двигателями с мембранной коробкой». Постоянные температурные перемещения величиной в диапазоне 11,4-48,3 мм могли моделироваться в ответ на изменения температуры окружающей среды. В сумме, было построено 16 машин и испытано 19 образцов швов с помощью вышеуказанного моделирования температурных перемещений. Все машины располагались вне помещений, для того чтобы позволить образцам находиться в естественных условиях окружающей среды. На основе данных, полученных в этих испытаниях, был разработан метод определения ожидаемого срока службы модульных швов. По результатам испытаний автором был сделан вывод, что качество подобных модульных швов с упругим резиновым компенсатором значительно варьировалось, и по этой причине производителям металлического профиля и специалистам резиновой промышленности рекомендовалось улучшить контроль качества на производстве, пока не разработан единый метод определения качественных характеристик данного типа швов.

В 1982 году в Великобритании инженером Хоббсом [3] были проведены испытания асфальтобетонных клепаных швов с повышенной скоростью и управляемой температурой с использованием квадратных образцов дорожного полотна со стороной 1 м. На рис. 1 приведена принципиальная схема испытательной установки, используемой Хоббсом. Образцы подверглись 2 млн. циклам подъемов и наклонов с величиной 0,09 мм и $1,8 \times 10^{-4}$ радиан, соответственно.

Смоделированные движения генерировались парой гидравлических домкратов, способных к приложению нагрузки 25 кН и имеющих ход 110 мм. Домкраты при работе не совпадали по фазе. Это было необходимо для воспроизведения влияния проезжающего грузового автомобиля на конструкцию моста, как показано на рис. 2. Температурные перемещения величиной $\pm 7,5$ мм регулировались к начальному зазору шва в 37,5 мм с помощью стяжного болта вручную. Об особенностях измерительной аппаратуры данных нет.

Вследствие определенных ограничений данной машины, точный контроль над вызываемыми деформациями не представлялся возможным. Об успешном методе сравнения долговечности различных конструкций асфальтобетонных клепаных швов сообщили Хабанд и Вуд в своих трудах в 1986 г. [4]. Они включали конечно-элементный анализ и компьютерное моделирование стандартного асфальтобетонного шва, находящегося в эксплуатации.

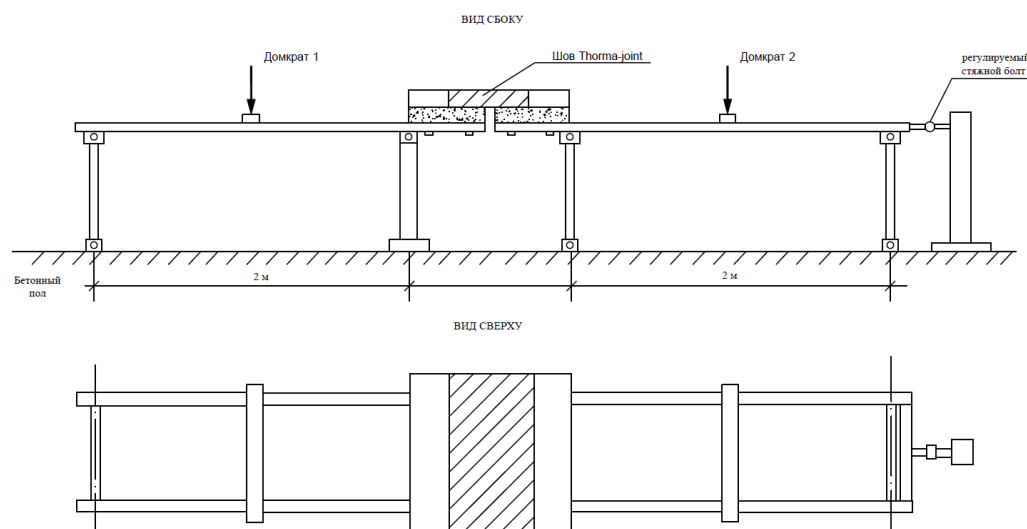


Рисунок 1. Принципиальная схема испытательной установки Хоббса [3]
Figure 1. Schematic diagram of the Hobbs test rig [3]

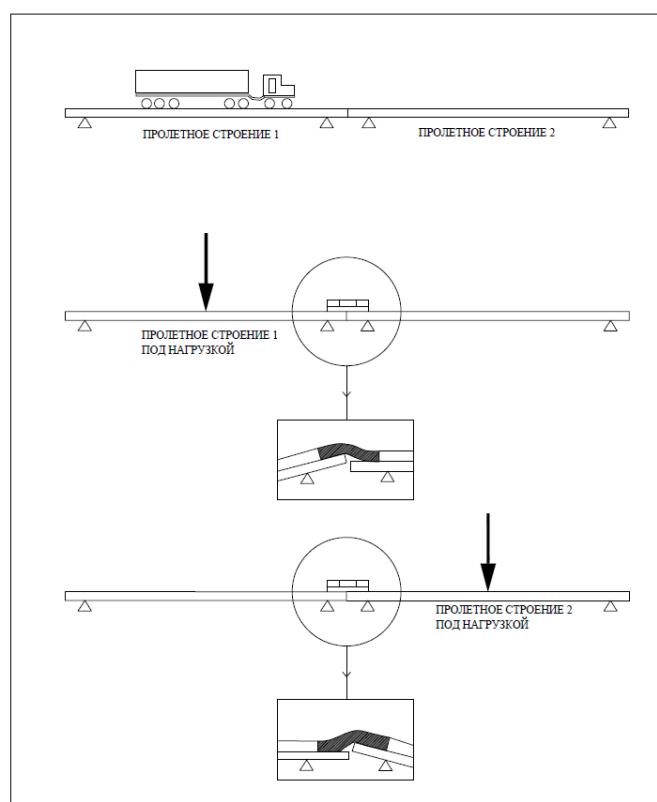


Рисунок 2. Моделирование пересечения транспортным средством шва между двумя пролетными строениями [3]

Figure 2. Simulation of the vehicle crossing the joint between two bridge span structures [3]

Более сложная «машина» для испытания деформационных швов была разработана Стивенсоном в 1986 году [5]. Испытательная установка состояла из опорной плиты и четырех

подузлов, как показано на рис. 3, и была способна моделировать перемещения мостового полотна вдоль трех взаимно перпендикулярных осей. Вдоль продольных осей могли генерироваться горизонтальные перемещения ± 2 мм и ± 100 мм, представляющие перемещения, вызванные движением транспорта и изменениями температуры, соответственно. Горизонтальные перемещения величиной 0-50 мм вдоль поперечных осей также могут генерироваться при необходимости. Вертикальные перемещения могут быть в диапазоне от 0 до ± 6 мм. Все перемещения могут создаваться с помощью четырех электромеханических двигателей с регулируемыми упорами на частотах, показанных на рис. 3. Установка может вмещать образцы швов с максимальным размером 2 x 1 м. На данном стенде могли испытываться различные типы швов, такие как закрытые, модульные или гребенчатые швы. Истинные эксплуатационные характеристики предложенной машины пока неизвестны.

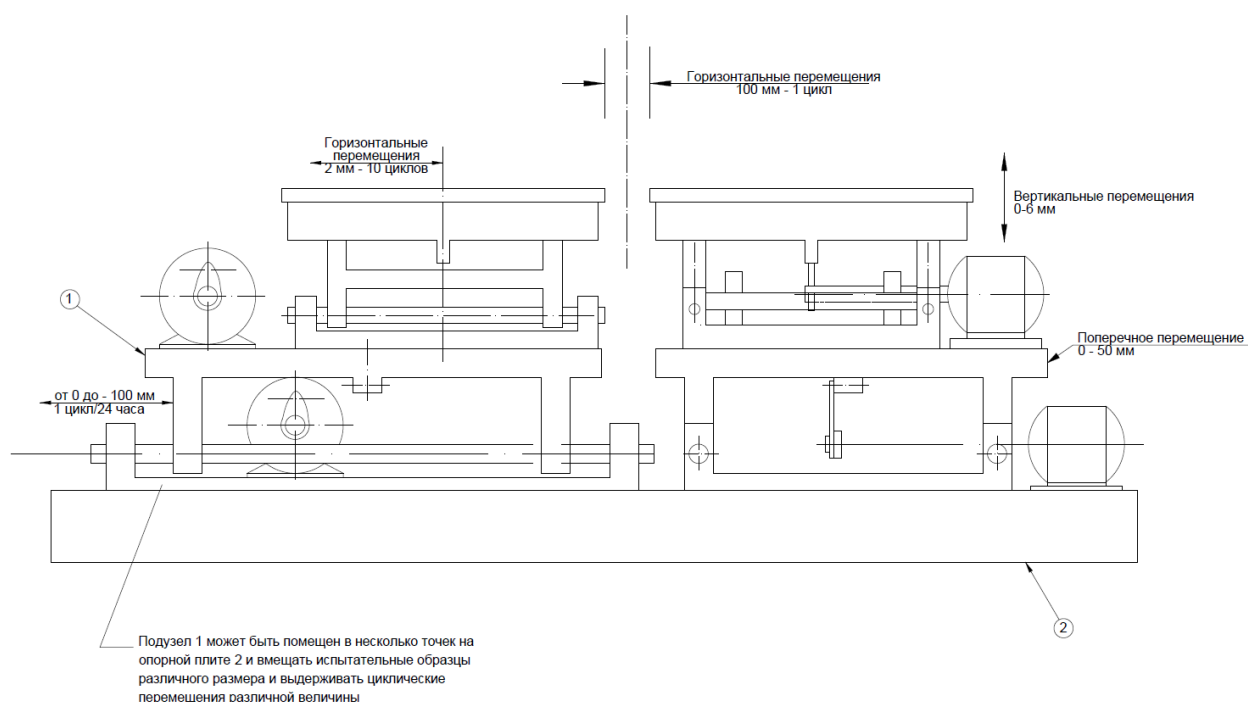


Рисунок 3. Испытательная установка для деформационных швов Стивенсона [5]

Figure 3. Stevenson testing rig for expansion joints [5]

Тем временем в Австрии инженер Вике с соавторами [6] в 1987 г. разработал испытательный комплекс из четырех машин, а также предложил программу испытаний (рис. 4) для испытания закрытых деформационных швов. Первая машина (испытательная установка № 1) могла использоваться для изучения реакции материалов шва на горизонтальные перемещения шва при различных температурах путем измерения восстанавливающих сил материалов шва после каждого полного растяжения системы швов. Вторая предложенная машина (испытательная установка № 2) была вращающейся системой набивки колеи. Машина имела четыре отдельных колеса на четырех стальных ножках. Колесо вращается по кругу диаметром 7,5 м с максимальной скоростью 30 км/ч. Можно было испытывать одновременно четыре образца швов с колесной нагрузкой 87,5 кН. В сумме, было приложено 6 млн. циклов нагрузки для каждого испытания, при этом швы не должны были иметь повреждений после этого испытания. Испытания динамической нагрузкой могли проводиться с помощью третьей машины, которая называлась гидроимпульсной системой (испытательная установка № 3). Машина состояла из нагрузочной рамы и гидравлического домкрата с нагрузкой и ходом поршня 250 кН и 100 мм, соответственно. Образцы швов размером 4 x 2,5 м могли испытываться динамической нагрузкой 122,5 кН в течение 6 млн.

циклов. Образцы помещались под наклоном 16% к горизонтали, чтобы и горизонтальные, и вертикальные составляющие нагрузки могли производиться одним домкратом. Последняя машина (испытательная установка № 4) состояла из опорной рамы, изготовленной из тяжелых стальных балок. Образцы швов удерживались на двух подвижных столах. Медленные горизонтальные и вертикальные движения производились установкой электродвигателя с помощью толкающе-буксировочных и подъемных валов, соответственно. Было предложено, чтобы образцы швов подвергались каждой из этих перемещений в течение 2500 циклов в процессе испытания. Эта же машина могла использоваться для исследования влияния внедрения чужеродных материалов в зазоры швов и герметичности системы швов. Хотя о результатах этих испытаний нет информации, вероятно, они способствовали определению объективных способов оценки эксплуатационных характеристик деформационных швов и помогли бы инженерам в выборе наилучшей системы швов для моста на стадии проектирования.

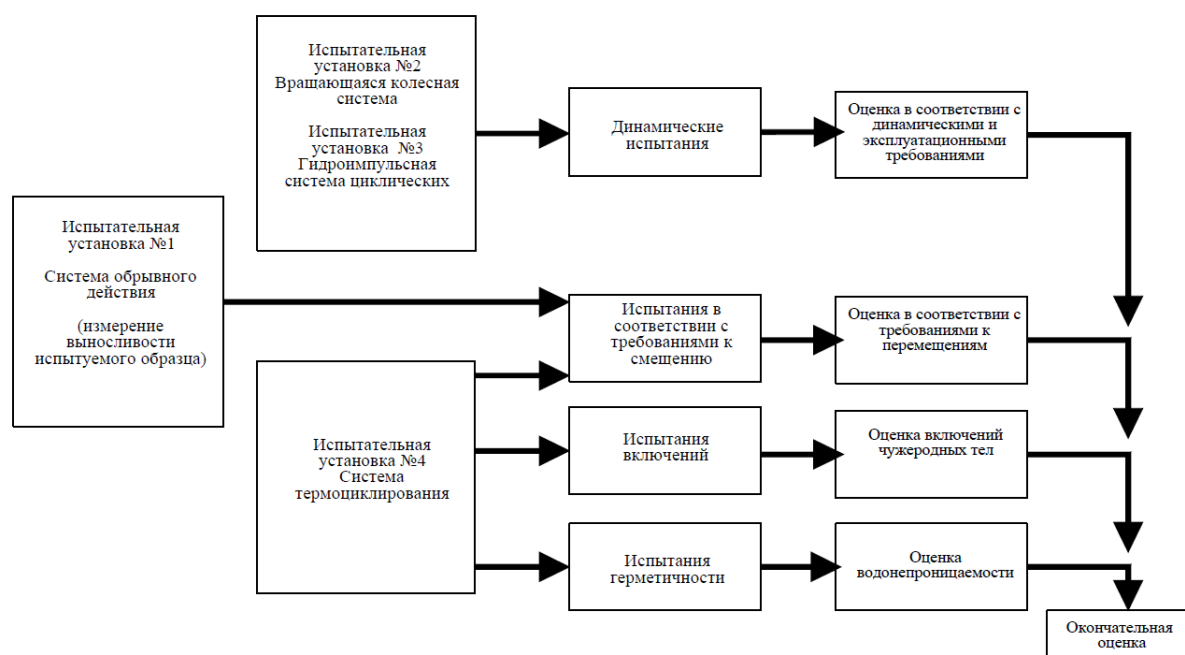


Рисунок 4. Блок-схема испытательного комплекса Вике [6]

Figure 4. Bloch scheme of test system Vick [6]

Долгосрочное наблюдение (в течение 7 лет) эксплуатационных характеристик 50 швов закрытого типа, находящихся в эксплуатации, было выполнено в 1982 г. Прайсом [7] в лаборатории транспортных и дорожных исследований в Великобритании. Оно включало закрытые швы, изготовленные из разных материалов и установленные на различных конструкциях мостов. Прайс сделал вывод, что перемещения мостового полотна, вызванные движением транспорта и температурными изменениями, материалом, используемым в шве, подготовкой объекта и качеством изготовления изделий, погодой и температурой во время монтажа и погодой во время эксплуатации, были факторами влияющими на эксплуатационные характеристики закрытых швов.

Кловером [8] в 1896 году в Бельгийском центре исследований дорог был предпринят пятилетний проект по изучению деформационных швов мостового полотна. С помощью полевой измерительной аппаратуры были зарегистрированы перемещения зазоров швов, вызванные движением транспортных средств. Результаты этих измерений с одного из объектов представлены на рис. 5. Продолжительность перемещений швов зависит от длины пролета конструкции и скорости движения транспортного средства и обычно составляет 1,5-3 секунды.

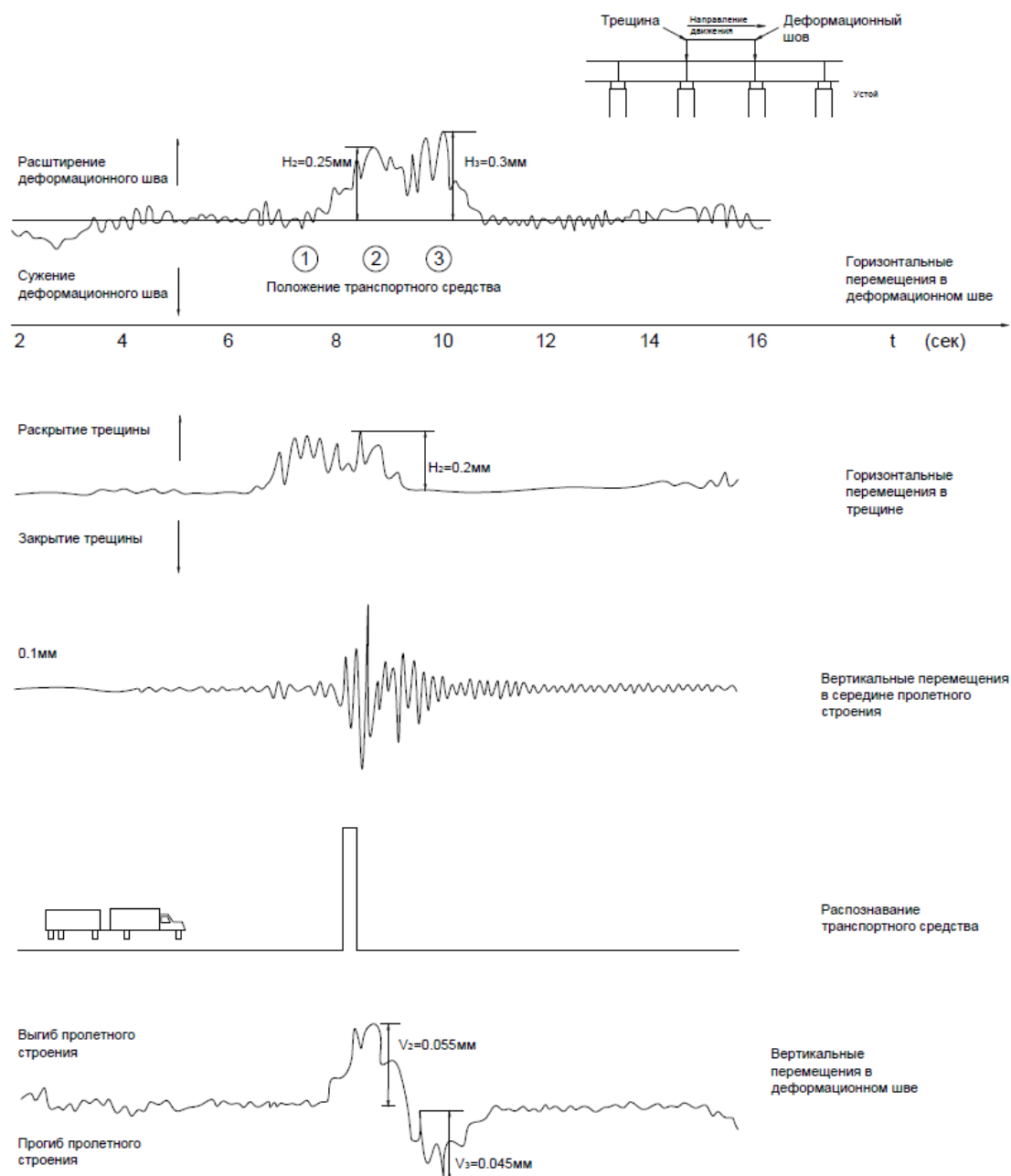


Рисунок 5. *Перемещения зазоров швов, вызванные движением транспортных средств [8]*
Figure 5. *Mobility of the joint gaps caused by moving of vehicles [8]*

Кловер также ввел такое понятие как коэффициент концентрации напряжений (KS) для расчета критического напряжения в материале дорожного покрытия над закрытым швом. Этот коэффициент был определен как отношение перемещения материала шва, измеренной изнутри покрытия над зазором шва, к перемещения свободного тела, изготовленного из того же материала и подверженного той же сдвиговой нагрузке. На рис. 6 представлено определение и типичное значение коэффициента концентрации напряжений для закрытого шва.

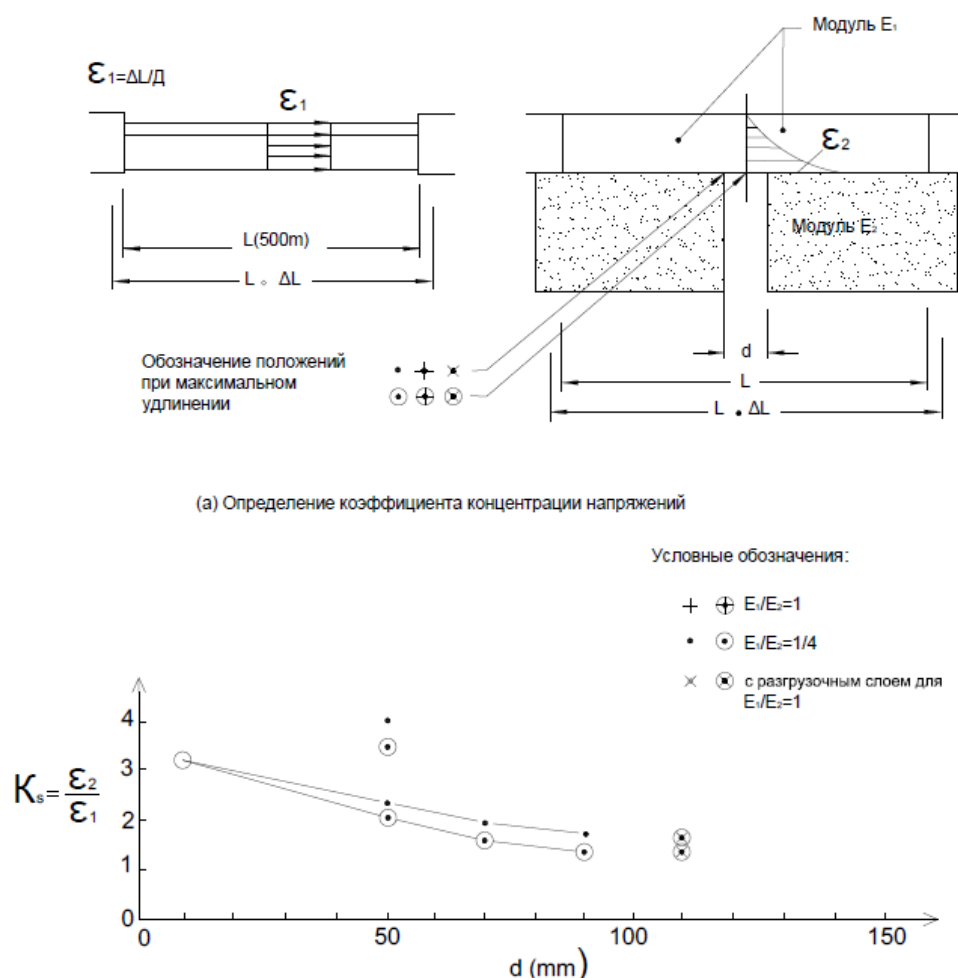


Рисунок 6. Изменение коэффициента концентрации напряжений в закрытом шве [8]

Figure 6. Change in the stress concentration factor in the closed joint [8]

Была предпринята попытка прогнозирования срока службы закрытого шва с использованием измеренных спектров горизонтальных перемещений, расчетного коэффициента концентрации напряжений и кривой усталостного срока службы, полученной по результатам серии простых усталостных испытаний трапециевидных образцов. Хотя это дало метод прогноза относительных сроков службы различных швов, сроки службы швов сильно преуменьшаются.

Физическое моделирование деформационных швов наиболее точно отражает их работу в реальных условиях эксплуатации, что позволяет совершенствовать конструкцию швов и околошовных зон покрытия, тем самым повысив их долговечность.

На основе анализа зарубежных методов стендовых испытаний деформационных швов на полигоне МАДИ разработан стенд в составе испытательного комплекса КУИДМ 2 «Карусель» с целью определения выносливости металлических несущих конструкций модульных деформационных швов отечественного и зарубежного производства, а также износостойкости материалов покрытия околошовных зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОДМ 218.2.025-2012 "Деформационные швы мостовых сооружений на автомобильных дорогах", 2012.

2. Kozlov G.S. «Field performance Simulation and Laboratory Test for Sealants», Proc. First World Congress on Joint Sealing and Bearing System on Concrete Structures. New York, ACI Publication SP-70, 1981. pp. 335-351.
3. Hobbs R.E. «Fatigue Test on the Thorma-Jointing System», 1982.
4. Huband M.R. and Wood T.L. «The Durability of Bridge Expansion Joints», 1986.
5. Stevenson E.J. «Test Rig for Bridge Expansion Joint», Argement Board, 1976.
6. Eyre R. «Research on Expansion Joint in Austria».Crowthorne 1987.
7. Price A.R. «The Service Perfomance of Fifty Buriedtype Bridge Expansion Joints», «Trials of Buried Joints and Surfacing on A Composite Motorway Viaduct». Crowthorne, 1988.
8. Clauwert C. «A Study of Expansion Joints and Buried Joints for Bridges in Belgium» San Antonio, Texas, 1986.
9. Валиев Ш.Н., Смоленкин В.С. Особенности работы покрытия проезжей части в зоне деформационных швов мостовых сооружений // Интернет-журнал «Науковедение» 2014, №3, [Электронный ресурс] <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN314.pdf> - М. с. 1 - 17.
10. Ефанов А.В. Разрушение покрытия мостового полотна и деформационных швов: причины, проблемы и пути решения / А.В. Ефанов, С.В. Овсянников, И.Г. Овчинников // Дороги и мосты. 2007, No2. С. 38-42.
11. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н. Анализ причин повреждения деформационных швов типа МММ Д-50 и МММ Д-100 на мостовых сооружениях Автомобильной дороги М-4 «ДОН» // Интернет-журнал "Науковедение" №5, 2013. с. 1-13.
12. 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.
13. 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.
14. Козлачков С.В., Овчинников И.И., Валиев Ш.Н., Овчинников И.Г. Требования к деформационным швам мостовых сооружений // Интернет-журнал «Науковедение» 2012, №3, [Электронный ресурс]. <http://naukovedenie.ru/ik12/12-43.pdf>. - М. с. 1 - 6.
15. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н. Повреждения зон сопряжения дорожных одежд и деформационных швов на мостовых сооружениях: возможные причины и способы их устранения // Интернет-журнал "Науковедение" №6, 2013. с. 1-20.
16. 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.
17. Валиев Ш.Н. и др. Анализ напряженно-деформированного состояния щебеночно-мастичных деформационных швов автодорожных мостов при их работе под нагрузкой / Строительная механика и расчет сооружений, №5 (250), 2013 г.
18. 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.

Valiev Sherali Nazaralievich

Moscow road state technical university, Russia, Moscow
E-mail: Mosti.madi@mail.ru

Smolenkin Vladimir Sergeevich

Moscow road state technical university, Russia, Moscow
E-mail: Atk.007@mail.ru

Rybnikova Ekaterina Borisovna

Moscow road state technical university, Russia, Moscow
E-mail: p.b.ekaterina@gmail.com

Expansion joints of bridge structures: foreign experience of physical simulation

Abstract. This article presents an overview of the foreign experience in the physical simulation of operation of the bridge structure expansion joints and the examples of specific models of testing rigs for the various systems.

It is shown that there are currently quite many systems of expansion joints in the bridge erection industry, and each one of them has its own design features and operational conditions. Therefore, the problem of the premature failure of expansion joints is a major one. A number of foreign scientists together with the manufacturers are already trying to find a solution of this problem. Based on the results of their tests, many experts agree on the need to develop a common method for determining quality characteristics of specific types of joints and their estimated service life.

It is noted that bench tests allow to conduct a whole series of studies in order to accelerate the potential evaluation of the operational characteristics of expansion joints which herein after enables to improve the design of expansion joints and the heat-affected surface zones, increase their durability and help engineers to choose the most rational system of expansion joints for bridge structures at the design stage.

A conclusion is made with respect to the analysis of the foreign methods of expansion joint bench tests resulting in the development of a bench test rig at the MADI (Moscow Institute of Road Traffic) polygon composed of the "Carousel" KUIDM 2 (Universal Road Machinery Test System) in order to determine the endurance of metallic support structures of the Russian and foreign modular expansion joints and material wear resistance of the heat-affected surface zones.

Keywords: bridge; expansion joint; road pavement; vehicular deck; bridge floor; transition zone; physical simulation; test bench

REFERENCES

1. ODM 218.2.025-2012 "Deformatsionnye shvy mostovykh sooruzheniy na avtomobil'nykh dorogakh", 2012.
2. Kozlov G.S. «Field performance Simulation and Laboratory Test for Sealants», Proc. First World Congress on Joint Sealing and Bearing System on Concrete Structures. New York, ACI Publication SP-70, 1981. pp. 335-351.
3. Hobbs R.E. «Fatigue Test on the Thorma-Jointing System», 1982.
4. Huband M.R. and Wood T.L. «The Durability of Bridge Expansion Joints», 1986.

5. Stevenson E.J. «Test Rig for Bridge Expansion Joint», Argement Board, 1976.
6. Eyre R. «Research on Expansion Joint in Austria».Crowthorne 1987.
7. Price A.R. «The Service Perfomance of Fifty Buriedtype Bridge Expansion Joints», «Trials of Buried Joints and Surfacing on A Composite Motorway Viaduct». Crowthorne, 1988.
8. Clauwert C. «A Study of Expansion Joints and Buried Joints for Bridges in Belgium» San Antonio, Texas, 1986.
9. Valiev Sh.N., Smolenkin V.S. Osobennosti raboty pokrytiya proezzhey chasti v zone deformatsionnykh shvov mostovykh sooruzheniy // Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2014, №3, [Elektronnyy resurs] <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN314.pdf> - M. s. 1 - 17.
10. Efanov A.V. Razrushenie pokrytiya mostovogo polotna i deformatsionnykh shvov: prichiny, problemy i puti resheniya / A.V. Efanov, S.V. Ovsyannikov, I.G. Ovchinnikov // Dorogi i mosty. 2007, No2. S. 38-42.
11. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N. Analiz prichin povrezhdeniya deformatsionnykh shvov tipa MMM D-50 i MMM D-100 na mostovykh sooruzheniyakh Avtomobil'noy dorogi M-4 «DON» // Internet-zhurnal "Naukovedenie" №5, 2013. s. 1-13.
12. Kozlachkov S.V., Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G. Otechestvennye deformatsionnye shvy mostovykh sooruzheniy // Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012, №3, [Elektronnyy resurs]. <http://naukovedenie.ru/ik12/12-41.pdf>. - M. s. 1 - 17.
13. Kozlachkov S.V., Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G. Rekomenduemye konstruksii deformatsionnykh shvov mostovykh sooruzheniy i ratsional'naya oblast' ikh primeneniya // Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012, №3, [Elektronnyy resurs]. <http://naukovedenie.ru/ik12/12-42.pdf>. - M. s. 1 - 7.
14. Kozlachkov S.V., Ovchinnikov I.I., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.G. Trebovaniya k deformatsionnym shvam mostovykh sooruzheniy // Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012, №3, [Elektronnyy resurs]. <http://naukovedenie.ru/ik12/12-43.pdf>. - M. s. 1 - 6.
15. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N. Povrezhdeniya zon sopryazheniya dorozhnykh odezhd i deformatsionnykh shvov na mostovykh sooruzheniyakh: vozmozhnye prichiny i sposoby ikh ustraneniya // Internet-zhurnal "Naukovedenie" №6, 2013. s. 1-20.
16. Efanov A.V., Ovchinnikov I.G., Shesterikov V.I., Makarov V.N. Deformatsionnye shvy avtodorozhnykh mostov: osobennosti konstruksii i raboty: (uchebnoe posobie). Saratov: SGTU, 2005. – 174 s.
17. Valiev Sh.N. i dr. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya shchebenochno-mastichnykh deformatsionnykh shvov avtodorozhnykh mostov pri ikh rabote pod nagruzkoy / Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy, №5 (250), 2013 g.
18. Efanov A.V., Ovchinnikov I.G. Deformatsionnye shvy mostov: sovremennoe sostoyanie problemy // Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Saratov. SGTU 2006. №4 (16), vypusk 1., s. 81 - 86.