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

2015, Том 2, №2 / 2015, Vol 2, No 2 <http://t-s.today/issues/vol2-no2.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/02TS215.pdf>

DOI: 10.15862/02TS215 (<http://dx.doi.org/10.15862/02TS215>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Телегин М.А., Овчинников И.Г. Исследование совместной работы стальной ортотропной плиты с дорожной одеждой на ней при их различных параметрах // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 2, №2 (2015) <http://t-s.today/PDF/02TS215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Telegin M.A., Ovchinnikov I.G. [Research of simultaneous working of a steel orthotropic plate with road pavement on it at their various parameters] Russian journal of transport engineering, 2015, Vol. 2, no. 2. Available at: <http://t-s.today/PDF/02TS215.pdf> (In Russ.)

УДК 624.21.095.323

Телегин Максим Александрович

ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия», Россия, Омск¹

Старший преподаватель

E-mail: m_telegin@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=652896

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Россия, Пенза

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь

Профессор

Доктор технических наук

E-mail: bridgesar@mail.ru

Исследование совместной работы стальной ортотропной плиты с дорожной одеждой на ней при их различных параметрах

Аннотация. В последнее время на мостовых сооружениях нашло применение множество современных материалов для дорожной одежды. Напряженно-деформированное состояние дорожной одежды зависит как от жесткости ортотропной плиты, так и от параметров самой дорожной одежды. Используя полученные при различном шаге поперечных балок рациональные параметры ортотропных плит из расчета по прочности и устойчивости был произведен анализ максимальных растягивающих напряжений над стенкой главной балки в асфальтобетонном покрытии от автомобильной нагрузки при различных типах продольных ребер. Одной из главных проблем, связанных с долговечностью мостового сооружения, является малый срок службы дорожной одежды вследствие возникновения в ней трещин. Был произведен расчет фрагмента пролетного строения с дорожной одеждой в программном комплексе Zsoil, позволяющем моделировать контакт между конечными элементами.

Ключевые слова: ортотропная плита; дорожная одежда; мост; пролетное строение; напряженно- деформированное состояние; жесткость; трещины в дорожной одежде; метод конечных элементов

¹ 644080, г. Омск, пр. Мира 5, кафедра «Мосты и тоннели»

В последнее время на мостовых сооружениях нашло применение множество современных материалов для устройства дорожной одежды. К основным из них можно отнести литой асфальтобетон и щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА).

Применение литого асфальтобетона позволяет уменьшить риск возникновения трещин вследствие его хорошей работы на растяжение при изгибе [1]. Предел прочности на растяжение литого асфальтобетона составляет 5,6 МПа, плотного асфальтобетона – от 0,8 до 1,5 МПа. Таким образом, имеется возможность уменьшить толщину дорожной одежды до 70-80 мм, тогда как при использовании плотного асфальтобетона толщина дорожной одежды должна составлять 80-110 мм.

Применение ЩМА совместно с литым асфальтобетоном позволяет получить конструкцию дорожной одежды со слоями одинаковой деформативности, что достигается использованием в основе обоих слоев одного и того же полимербитумного материала [2]. Также в [2] отмечаются следующие преимущества применения данных материалов:

- высокая пластичность слоев дорожной одежды обеспечивает ее совместную работу с пролетным строением;
- последовательная укладка слоев из однородного материала в горячем состоянии обеспечивает повышенную трещиностойкость при значительных перепадах температур и динамических воздействиях транспорта.

Однако, следует заметить, что дорожники, являясь заказчиками в том числе и мостовых объектов, и имея информацию о достаточно хорошем поведении ЩМА в покрытиях автомобильных дорог, и НИЧЕГО ТОЛКОМ НЕ ЗНАЯ О РАБОТЕ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЯХ МОСТОВ почему-то решили, что ЩМА будет хорошо работать и в качестве покрытия на мостах, и потому навязывают его мостовикам, упирая именно на опыт применения его на автомобильных дорогах. Наш же опыт свидетельствует о многих отрицательных случаях применения ЩМА на мостах, поэтому мы не рекомендуем его применять на мостах. Для обоснования этого соображения и проведено настоящее исследование.

Некоторые примеры современных конструкций дорожных одежд на ортотропной плите [2] представлены на рис. 1-3.

Литой асфальтобетон I, II + посыпка щебнем фракции 10÷15 мм (40 мм)
Асфальтобетон А (40 мм)
Гидроизоляционная «мастика» (20 мм) + посыпка щебеночной высевкой 5 ÷ 10 мм
Полимербитум ПБВ 60 (4 мм) 3 кг/кв.м
Разжиженный полимербитум 300 г/кв.м
Ортотропная плита проезжей части (металлическая)

Рис. 1. Конструкция дорожной одежды тип I

Mastic asphalt I, II + broken stone blinding with fraction 10÷15 mm (40 mm)

Asphaltic concrete A (40 mm)
Waterproofing «mastic» (20 mm) + broken stone blinding by grit 5 ÷10 mm
Polymer asphalt PBV 60 (4 mm) 3 kg/m²
Cut-back asphalt 300 g/m²
Orthotropic plate of bridge deck (metal)

Fig. 1. Structure of the road pavement of type I

Асфальтобетон I, II(40 мм)

Литой асфальтобетон I, II + посыпка оcherненным щебнем фракции 15÷20 мм (40 мм)
Гидроизоляционный слой из Техноэластмост С (5,2 мм)
Полимербитум ПБВ 60 (4 мм) 3 кг/кв.м
Разжиженный полимербитум 300 г/кв.м
Ортотропная плита проезжей части (металлическая)

Рис. 2. Конструкция дорожной одежды тип II

Asphaltic concrete I, II (40 mm)

Mastic asphalt I, II + black broken stone blinding with fraction 15÷20 mm (40 mm)
Waterproofing layer of "Teckelastmost C" (5,2 mm)
Polymer asphalt PBV 60 (4 mm) 3 kg/m²
Cut-back asphalt 300 g/m²
Orthotropic plate of bridge deck (metal)

Fig. 2. Structure of the road pavement of type II

ЩМА 20 (щебеночно-мастичный асфальтобетон) 125 кг/кв.м - (40 мм)

Литой асфальтобетон I, II + посыпка оcherненным щебнем фракции 15÷20 мм (40 мм)
Гидроизоляционный слой «Техноэластмост С» (5,2 мм)
Полимербитум ПБВ 60 (4 мм) 3 кг/кв.м
Разжиженный полимербитум 300 г/кв.м
Ортотропная плита проезжей части (металлическая)

Рис. 3. Конструкция дорожной одежды тип III

ShchMA 20 (щебеночно-мастичный асфальтобетон) 125 кг/кв.м - (40 мм)

Mastic asphalt I, II + black broken stone blinding with fraction 15÷20 mm (40 mm)
Waterproofing layer of "Teckelastmost C" (5,2 mm)
Polymer asphalt PBV 60 (4 mm) 3 кг/кв.м
Cut-back asphalt 300 г/кв.м
Orthotropic plate of bridge deck (metal)

Fig. 3. Structure of the road pavement of type III

Напряженно-деформированное состояние дорожной одежды зависит как от жесткости ортотропной плиты, так и от параметров самой дорожной одежды [3-7]. Поэтому вопрос подбора типа дорожной одежды и толщины ее отдельных слоев при наличии имеющихся параметров ортотропной плиты является весьма актуальным.

Учитывая многообразие типов асфальтобетонных покрытий, используемых в России [8], для исследования было выбрано три типа асфальтобетона:

- плотный асфальтобетон типа Б на битуме нефтяном дорожном (БНД) марки 60/90 (расчетный кратковременный модуль упругости при 0°C 6000 МПа, расчетная прочность на растяжение при изгибе при 0°C **0,8 МПа**);
- щебеночно-мастичный асфальтобетон (расчетный кратковременный модуль упругости при 0°C 10700 МПа, расчетная прочность на растяжение при изгибе при 0°C **1,2 МПа**);
- литой асфальтобетон класса I, II (расчетный кратковременный модуль упругости при 0°C 8500 МПа, расчетная прочность на растяжение при изгибе при 0°C **5,6 МПа**).

Из этих типов асфальтобетонов наиболее частое применение на ортотропных плитах в последние годы находил плотный асфальтобетон типа Б толщиной 110 мм по слою гидроизоляции. Существенным недостатком такого покрытия считается его масса, к тому же неясно, целесообразно ли устройство покрытия такой толщины на ортотропной плите с коробчатыми продольными ребрами. Используя полученные при различном шаге поперечных балок рациональные параметры ортотропных плит из расчета по прочности и устойчивости (табл. 1) был произведен анализ максимальных растягивающих напряжений над стенкой главной балки в асфальтобетонном покрытии от нагрузки A14 при различных типах продольных ребер [9] (рис. 4).

Таблица 1

Параметры элементов ортотропной плиты

Parameters of orthotropic plate elements

Расстояние между поперечными балками	Сечение поперечной балки (высота x толщина стенки + ширина x толщина пояса)	Сечение полосового продольного ребра (высота x толщина)	Сечение коробчатого продольного ребра толщиной 6 мм (высота x ширина нижнего пояса)	Сечение коробчатого продольного ребра толщиной 8 мм (высота x ширина нижнего пояса)
2 м	450x12+200x12	150x14	150x150	150x150
2,5 м	500x12+200x12	200x12	150x200	150x150
3 м	550x12+200x12	200x14	200x200	200x250
3,5 м	550x12+200x14	250x12	200x200	200x250
4 м	600x12+200x14	250x12	200x250	250x200
4,5 м	650x12+200x12	250x14	250x200	250x250
5 м	650x12+200x14	300x12	250x150	300x200
5,5 м	700x12+200x12	300x12	300x200	300x250

Рисунок 4. Растягивающие напряжения в покрытии (плотный асфальтобетон типа Б на БНД марки 60/90 110 мм)

Fig. 4. Tensile stresses in coating (dense asphaltic concrete of type B on the construction bitumen of grade 60/90 110 mm)

Результаты расчета показывают, что при любом типе продольных ребер и любом шаге поперечных балок напряжения в асфальтобетоне значительно превышают прочность на растяжение при изгибе. Таким образом, при проектировании ортотропной плиты по прочности и устойчивости и использовании данного покрытия вероятность возникновения продольных трещин над стенками главных балок очень велика. Стоит отметить тот факт, что меньшие напряжения в асфальтобетоне возникают при использовании полосовых продольных ребер. Таким образом, необходимо либо увеличивать жесткость ортотропной плиты, либо менять тип дорожной одежды.

Чтобы оценить целесообразность использования другого типа дорожной одежды (с использованием щебеночно-мастичного или литого асфальтобетона) был сделан оценочный расчет максимальных напряжений в слоях дорожной одежды при нескольких возможных комбинациях 3-х рассматриваемых типов асфальтобетонов при общей толщине асфальтобетонного покрытия 110 мм и параметрах ортотропной плиты с полосовыми продольными ребрами при шаге поперечных балок 3 м (табл. 1). Были получены следующие результаты (жирным выделены напряжения, **не превышающие** прочность на растяжение при изгибе):

- 1) ЩМА 110 мм – 4,35 МПа;
- 2) Литой асфальтобетон 110 мм – **4,01 МПа;**

- 3) Нижний слой ЩМА 60 мм – 2,97 МПа, верхний слой асфальтобетон тип Б 50 мм – 2,81 МПа;
- 4) Нижний слой ЩМА 60 мм – 1,77 МПа, верхний слой литой асфальтобетон 50 мм – **3,92** МПа;
- 5) Нижний слой литой асфальтобетон 60 мм – **2,38** МПа, верхний слой асфальтобетон тип Б 50 мм – 2,92 МПа;
- 6) Нижний слой литой асфальтобетон 60мм – **1,04** МПа, верхний слой ЩМА 50 мм – 4,47 МПа;
- 7) Нижний слой асфальтобетон тип Б 60мм – **0,53** МПа, верхний слой ЩМА 50 мм – 4,74 МПа;
- 8) *Нижний слой асфальтобетон тип Б 60мм – **0,65** МПа, верхний слой литой асфальтобетон 50 мм – **4,28** МПа.*

Получается, что жизнеспособные варианты покрытия при данных параметрах пролетного строения – это либо **литой** асфальтобетон, либо нижний слой из плотного асфальтобетона типа Б + верхний слой из **литого** асфальтобетона. Причем у литого асфальтобетона остается существенный запас прочности (напряжение порядка 4-4,3 МПа, прочность на растяжение при изгибе – 5,6 МПа). Применение ЩМА в нижнем слое дорожной одежды (случай 4) при верхнем слое из литого асфальтобетона не спасает положения, напряжения в ЩМА превышают прочность на растяжение при изгибе. А любимый вариант с литым асфальтобетоном в нижнем слое и ЩМА в верхнем слое (случай 6) приводит к тому, что в ЩМА напряжения почти в 4 раза превышают прочность на растяжение при изгибе.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно отметить, что при определенных параметрах ортотропной плиты проезжей части стального пролетного строения в дорожной одежде из плотного асфальтобетона либо щебеночно-мастичного асфальтобетона возникают напряжения, значительно превышающие расчетное сопротивление материала. Выход из сложившейся ситуации видится либо в значительном увеличении жесткости ортотропной плиты, либо применении для дорожной одежды литого асфальтобетона. То есть применение ЩМА не спасает положения и напряжения в нем превышают прочность на растяжение при изгибе.

Одной из главных проблем, связанных с долговечностью мостового сооружения, является малый срок службы дорожной одежды вследствие возникновения в ней трещин [10]. Возникновение трещин в верхнем слое дорожной одежды обычно влечет за собой проникание влаги в толщу дорожной одежды, в результате чего связь между асфальтобетонным покрытием, слоем гидроизоляции и ортотропной плитой может быть нарушена. Так как наиболее часто трещины возникают над главными балками пролетного строения [3-7], то и нарушение связи в основном происходит в этой же зоне [3]. Так как пролетное строение и ортотропная плита в частности рассчитываются в предположении отсутствия связи с дорожной одеждой, интерес вызывают последствия данного события для асфальтобетонного покрытия и ортотропной плиты. Чтобы оценить такие последствия, был произведен расчет фрагмента пролетного строения с дорожной одеждой в программном комплексе Zsoil, позволяющем моделировать контакт между конечными элементами. Расположение временной нагрузки АК было принято согласно рис. 5, чтобы вызвать в дорожной одежде максимальные растягивающие напряжения. Чтобы оценить влияние размеров площадки с нарушенной связью на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды было рассмотрено несколько размеров площадки. Варианты размеров площадки, на которой было произведено моделирование нарушения связи, показаны на рис. 6. Поперечные деформации пролетного строения при различных вариантах площадок показаны на рис. 7-8, максимальные

растягивающие напряжения в соседнем со стенкой продольном ребре, а также в дорожной одежде над стенкой главной балки, величина максимального отлипания дорожной одежды от ортотропной плиты показаны в табл. 2.

Рисунок 5. Положение колеса подвижной нагрузки

Fig. 5. Position of the moving load wheel

Рисунок 6. Варианты площадок с нарушенной связью между покрытием и ортотропной плитой

Fig. 6. Options of sites with damaged bond between coating and orthotropic plate

Рисунок 7. Поперечные деформации пролетного строения при площадке 400x400 мм

Fig. 7. Transverse strains of superstructure for a site 400x400 mm.

Рисунок 8. Поперечные деформации пролетного строения при площадке 2400x2400 мм

Fig. 8. Transverse strains of superstructure for a site 2400x2400 mm.

Таблица 2

Результаты расчета при различных площадках с нарушенной связью

Results of calculation for the various sites with damaged bond

Размеры площадки с нарушенной связью, мм	Максимальное отлипание дорожной одежды от ортотропной плиты, мм	Максимальные поперечные растягивающие напряжения в дорожной одежде, МПа	Максимальные продольные растягивающие напряжения в продольном ребре (металл), МПа
Связь не нарушена	-	2,331	112,3
400х400	0,00367	2,332 (+0,04%)	112,3 (0%)
1000х1000	0,033	2,354 (+1%)	112,2 (-0,09%)
1800х1800	0,0726	2,448 (+5%)	112,1 (-0,2%)
2400х2400	0,0941	2,587 (+11%)	112,1 (-0,2%)

Расчеты показали, что нарушение связи между дорожной одеждой и ортотропной плитой над главной балкой пролетного строения влечет за собой увеличение поперечных растягивающих напряжений в дорожной одежде, причем их увеличение может достигать 10-15% при площадке с размерами сторон более 2 м. Что касается напряжений в продольном ребре, то при данном загрузении наличие отлипания дорожной одежды не сказывается на величине напряжений.

Таким образом, при рассмотренном загрузении нарушение связи между покрытием и плитой негативно сказывается на работе дорожной одежды поперек пролетного строения, что, по возможности, необходимо учитывать при расчете дорожной одежды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Братчун В.И., Столярова Н.А., Беспалов В.Л., Рыбалко И.Ф., Деркач М.В. Расчет дорожного покрытия из литой асфальтополимерсеробетонной смеси с шероховатой поверхностью на усталостное разрушение от растяжения при изгибе – Вісник. Выпуск 2009-1 (75). С. 3-9.
2. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Илюшкин В.А., Овчинников И.И., Овсянников С.В. Инновационные технологии устройства мостового полотна на современных мостовых сооружениях – Саратов, 2008.
3. Телегин М.А., Овчинников И.Г. Дорожная одежда на ортотропных плитах мостов - Дорожная держава. 2011, № 35. СПб. С. 34-39.
4. Телегин М.А. Методика расчета дорожной одежды на ортотропной плите стальных мостов - Дороги и мосты. Выпуск 26/2, Москва-2011. – С. 205 - 211.
5. Телегин М.А., Овчинников И.Г. Компоненты напряженного состояния дорожной одежды на стальной ортотропной плите моста - "Проблемы прочности элементов конструкций под действием нагрузок и рабочих сред". Сборник научных трудов, Саратов, 2011. – С. 105-109.
6. Телегин М.А. Работа дорожной одежды на стальной ортотропной плите пролетного строения моста в зоне главных балок - Транспортное строительство. №2, Москва-2012.
7. Телегин М.А. Моделирование работы дорожной одежды на стальной ортотропной плите моста - Вестник СибАДИ, выпуск 3 (25), 2012. – С. 63 – 68.
8. Нежесткие дорожные покрытия на металлических мостах - Обзорная информация. Автомобильные мосты и дороги - №4, 2004.
9. Телегин М.А. Анализ напряженно-деформированного состояния продольных ребер ортотропной плиты пролетного строения при изменении расстояния между поперечными балками - "Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России". Материалы IV международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. ВолгГАСУ, Волгоград 2010. С. 11-17.
10. Телегин М.А. Зарубежный опыт использования дорожной одежды на ортотропных плитах мостов - "Наука и образование: архитектура, градостроительство и строительство". Материалы международной конференции, посвященной 80-летию строительного образования и 40-летию архитектурного образования Волгоградской области. Волгоград-2010. С. 529-534.

Telegin Maxim Alexandrovich

Siberian State Automobile and Highway Academy, Russia, Omsk
E-mail: m_telegin@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

Penza State University of Architecture and Construction, Russia, Penza
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov
Perm national research polytechnic university, Russia, Perm
E-mail: bridgesar@mail.ru

Research of simultaneous working of a steel orthotropic plate with road pavement on it at their various parameters

Abstract. Recently, a lot of advanced materials for road pavement has been used on the bridge structures. The stress-strain state of road pavement depends on both stiffness of the orthotropic plate and parameters of the road pavement itself. Using the rational parameters of the orthotropic plates defined at the various spacing of transversal beams on the basis of the strength and stiffness, there was carried out analysis of maximum tensile stresses over the wall of the main beam in the asphaltic concrete pavement due to the car load at the different types of longitudinal ribs. A short service life of the road pavement due to the crack initiation in it is one of the main problems associated with the life duration of bridge structures. Calculation of the superstructure fragment with the road pavement was made in the program complex Zsoil, allowing to simulate the contact between the finite elements.

Keywords: orthotropic plate; road pavement; bridge; superstructure; stress-strain state; stiffness; cracks in the road pavement; finite element method

REFERENCES

1. Bratchun V.I., Stolyarova N.A., Bepalov V.L., Rybalko I.F., Derkach M.V. Raschet dorozhnogo pokrytiya iz litoy asfal'topolimerserobetonnoy smesi s sherokhovatoy poverkhnost'yu na ustalostnoe razrushenie ot rastyazheniya pri izgibe – Visnik. Vypusk 2009-1 (75). S. 3-9.
2. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ilyushkin V.A., Ovchinnikov I.I., Ovsyannikov S.V. Innovatsionnye tekhnologii ustroystva mostovogo polotna na sovremennykh mostovykh sooruzheniyakh – Saratov, 2008.
3. Telegin M.A., Ovchinnikov I.G. Dorozhnaya odezhda na ortotropnykh plitakh mostov - Dorozhnaya derzhava. 2011, № 35. SPb. S. 34-39.
4. Telegin M.A. Metodika rascheta dorozhnoy odezhdy na ortotropnoy plite stal'nykh mostov - Dorogi i mosty. Vypusk 26/2, Moskva-2011. – S. 205 - 211.
5. Telegin M.A., Ovchinnikov I.G. Komponenty napryazhennogo sostoyaniya dorozhnoy odezhdy na stal'noy ortotropnoy plite mosta - "Problemy prochnosti elementov konstruktsiy pod deystviem nagruzok i rabochikh sred". Sbornik nauchnykh trudov, Saratov, 2011. – S. 105-109.
6. Telegin M.A. Rabota dorozhnoy odezhdy na stal'noy ortotropnoy plite proleznogo stroeniya mosta v zone glavnykh balok - Transportnoe stroitel'stvo. №2, Moskva-2012.
7. Telegin M.A. Modelirovanie raboty dorozhnoy odezhdy na stal'noy ortotropnoy plite mosta - Vestnik SibADI, vypusk 3 (25), 2012. – S. 63 – 68.
8. Nezhestkie dorozhnye pokrytiya na metallicheskih mostakh - Obzornaya informatsiya. Avtomobil'nye mosty i dorogi - №4, 2004.
9. Telegin M.A. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya prodol'nykh reber ortotropnoy plity proleznogo stroeniya pri izmenenii rasstoyaniya mezhdru poperechnymi balkami - "Molodezh' i nauchno-tekhnicheskiy progress v dorozhnoy otrasli yuga Rossii". Materialy IV mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. VolgGASU, Volgograd 2010. S. 11-17.
10. Telegin M.A. Zarubezhnyy opyt ispol'zovaniya dorozhnoy odezhdy na ortotropnykh plitakh mostov - "Nauka i obrazovanie: arkhitektura, gradostroitel'stvo i stroitel'stvo". Materialy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu stroitel'nogo obrazovaniya i 40-letiyu arkhitekturnogo obrazovaniya Volgogradskoy oblasti. Volgograd-2010. S. 529-534.