

И.Г. Овчинников

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

И.И. Овчинников

Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А. Гагарина, Саратов, Россия

М.А. Телегин

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия,
Омск, Россия

С.В. Хохлов

Корпорация «ТемпСтройСистема®», Москва, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА МОСТАХ (ИНОСТРАННЫЙ ОПЫТ)

В Европе большинство (если не все) железобетонных и металлических мостов имеют асфальтобетонное покрытие. Основная причина применения асфальтобетона – гидроизоляция нижележащих конструкций и борьба с гололедом. В статье кратко рассматриваются дорожные одежды, в основном используемые на стальных и железобетонных мостах.

Приведены конструктивные решения дорожной одежды на мостах и показано, что дорожная одежда может быть представлена в виде четырех основных слоев: связующий слой (грунтовка), слой гидроизоляции, защитный слой асфальтобетона и поверхностный слой асфальтобетона. Описаны конструкции дорожных одежд по металлической и железобетонной плитам проезжей части и их отличия, а также смеси, используемые для устройства асфальтобетонных слоев. Также рассмотрены вопросы ремонта и эксплуатации дорожных одежд.

Ключевые слова: асфальт, дорожная одежда, мост, плита проезжей части, ортотропная плита, адгезионный слой, защитный слой, гидроизоляция, асфальтобетонное покрытие, содержание, ремонт.

I.G. Ovchinnikov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

I.I. Ovchinnikov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation

M.A. Telegin

Siberian State Automobile and Highway Academy, Omsk, Russian Federation

S.V. Khokhlov

Corporation "TempStroySistema®", Moscow, Russian Federation

APPLICATION OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT ON BRIDGES (FOREIGN EXPERIENCE)

There are many applications for asphalt. One of them is on bridges. There are many types of bridges and these bridges can be constructed from different building materials such as concrete, stone, wood or steel. This paper will concentrate on the use of asphalt on steel and concrete bridges, the most popular of modern types. In Europe most (if not all) steel and concrete bridges have an asphalt surfacing on top. One of the main reasons for using asphalt is to protect the steel and concrete structures from water and de-icing salts. This paper describes the systems that are mostly used for steel and concrete bridges. In paper the layers used on the bridge decks are described. In general, the asphalt bridge pavement system can be split into four different layers: a sealing/bonding layer (primer), a waterproofing layer, a protecting layer and the asphalt surface layer. These four layers are described. Chapter four of the paper describes the asphalt layers for steel bridge decks and concrete bridge decks and it explains the differences between steel and concrete bridge structures. The bituminous mixtures used for asphalt layers on bridge decks are listed in next chapter. Maintenance and rehabilitation is addressed in last chapter.

Keywords: asphalt, pavement, bridge, bridge decks, orthotropic steel plate, bonding layer, protecting layer, waterproofing, asphalt surface layer, maintenance, rehabilitation.

Введение

Одно из возможных направлений применения асфальтобетона – мостовые сооружения. Мосты бывают различных типов и могут быть выполнены из разных материалов, таких как бетон, камень, дерево, сталь, железобетон. Мосты можно классифицировать по-разному. При этом учитывается тип конструктивных элементов, характер использования, их неподвижность или подвижность, а также вид используемого материала. По схеме работы мосты бывают балочные, ферменные, консольные, арочные, висячие и вантовые, а также либо стационарные, либо подвижные (у нас их не совсем корректно называют разводными), совмещенные, виадуки, эстакады, когда пролеты мостов объединяются

в одну протяженную конструкцию. В зависимости от вида используемого материала мосты в основном бывают железобетонными, металлическими, сталебетонными и реже из полимерных композитных материалов или представляют собой комбинацию этих материалов.

В данной статье будет рассмотрен иностранный опыт применения асфальтобетона на металлических и железобетонных мостах, наиболее широко распространенных в настоящее время.

Вопросы применения различных дорожных одежд на мостах в России рассмотрены в монографиях [1, 2] и статьях [3–11]. В настоящей работе использованы данные публикаций [12–15].

Во многих современных металлических мостах в качестве плиты проезжей части используются ортотропные плиты. Ортотропная плита состоит из металлического настила, поддерживаемого системой продольных и поперечных ребер жесткости. Ребра жесткости могут быть полосовыми или коробчатыми. Из-за различия свойств во взаимно перпендикулярных (ортотропных) направлениях такие конструкции и называют ортотропными плитами [13].

Основная причина использования асфальта и асфальтобетонных слоев на мостах заключается в необходимости защитить мостовые конструкции от возможных повреждений (вызванных действием антигололедных смесей) и обеспечить их долговечность.

Слои дорожной одежды на плите проезжей части

К дорожной одежде на плите проезжей части моста предъявляется ряд важных требований, в том числе: способность деформироваться, сохраняя структуру; обеспечивать сопротивление скольжению; необходимая жесткость; ровность; устойчивость к старению и ряд других. Она также должна надежно защищать и изолировать нижележащие мостовые конструкции, так как это в значительной степени продлевает срок службы конструкции под действием тяжелого дорожного движения в неблагоприятных погодных условиях [14]. Дорожная одежда должна воспринимать нагрузку от транспорта, передавать ее на нижележащие конструкции, сопротивляться деформациям и обеспечивать хорошее сцепление колес с покрытием. Кроме того, она должна защищать конструкции моста от поверхностной воды, которая в зимнее время содержится в солевых смесях, способствующих коррозии. Из-за различных требований к конструкции дорожной одежды на плите проезжей части моста эти требования не могут быть выполнены

с использованием одного слоя дорожной одежды из одного материала, поэтому более эффективным является разделение выполняемых функций между слоями дорожной одежды, т.е. использование целой системы, состоящей из нескольких слоев. В общем случае асфальтобетонная дорожная одежда на плите проезжей части моста включает четыре различных слоя: связующий слой (грунтовка), слой гидроизоляции, защитный слой и поверхностный слой (асфальтобетон).

Несмотря на то, что на стальных и железобетонных плитах проезжей части могут использоваться различные материалы и технологии, в обоих случаях можно отметить некоторые общие шаги, включающие подготовку поверхности плиты, нанесение герметизирующего слоя (грунтовки), слоя гидроизоляции, защитного слоя и сверху поверхностного слоя. Слой гидроизоляции с защитным слоем часто называют «гидроизолирующей системой».

Поверхностная и подповерхностная дренажные системы могут устраиваться и на железобетонных, и на металлических плитах проезжей части. Герметизирующий слой может устраиваться из различных материалов, включая битумные.

Подготовка поверхности, нанесение связующего слоя

Поскольку асфальтобетонные слои не могут быть напрямую нанесены на бетонную или стальную основу (поверхность) и при этом не являются абсолютно водонепроницаемыми, необходимо устроить промежуточный связующий слой, который бы обеспечил хорошее сцепление с гидроизолирующим слоем. На железобетонных мостах этот слой закрывает поры в бетоне, что сводит к минимуму риск образования пузырей или вздутий между бетоном и гидроизолирующими слоями.

На стальной ортотропной плите функции связующего слоя следующие:

- обеспечить надежную защиту от коррозии;
- обеспечить достаточно прочную адгезию между ортотропной плитой и слоем гидроизоляции;
- быть устойчивым к действию сдвигающих сил;
- быть стойким к усталостным разрушениям.

Наиболее часто используемым методом нанесения связующего слоя (праймера, грунтовки) является нанесение какого-либо битумного материала, битумной эмульсии, эпоксидной смолы, полиуретана и т.д.

Перед нанесением связующего слоя (праймера) поверхность ортотропной плиты проезжей части должна быть соответствующим образом подготовлена – очищена, высушена должным образом, не содержать каких-либо примесей.

Поверхность бетона должна иметь достаточный уклон в продольном направлении, чтобы обеспечить водоотвод за счет устройства дренажного слоя, встроенного или устроенного на поверхности асфальтобетонной дорожной одежды. (Отсутствие такого уклона, как было установлено в ряде случаев, приводит к замачиванию и повреждению бетонных конструкций вследствие проникания в них воды.) После достижения бетоном достаточной прочности поверхность бетона подвергается пескоструйной обработке для удаления излишков цементного молочка и создания текстуры поверхности, обеспечивающей хорошее сцепление при устройстве гидроизоляции. После пескоструйной обработки нанесение сцепляющего слоя (праймера) производится на очищенную сухую поверхность бетона.

Металлическая ортотропная плита проезжей части моста должна быть без следов коррозии, смазки, масла, влаги или пыли на поверхности перед нанесением сцепляющего слоя (праймера – грунтовки).

Гидроизолирующая система

Гидроизолирующая система обычно состоит из слоя гидроизоляции плюс защитный слой.

Слой гидроизоляции

Долговечность мостов зависит от эффективности гидроизолирующей системы мостового полотна, включая деформационные швы. Необходимо исключить попадание соленой воды или противогололедных жидкостей на конструктивные элементы моста, чтобы избежать коррозии или при замораживании-оттаивании повреждений бетонных и стальных элементов. Также миграция CO_2 может привести к карбонизации и последующему ослаблению бетонных конструкций. Для того чтобы полностью герметизировать и выполнить гидроизоляцию конструкции, применяют двухслойную систему, так как нельзя исключить возможность появления локальных дефектов. При использовании второго слоя система становится устойчивой к недостаткам, что гарантирует получение водонепроницаемой системы.

Основные функциональные требования к гидроизоляции следующие [15]:

- водо- и воздухонепроницаемость при любых условиях;
- хорошая адгезия между конструкцией моста и асфальтобетонной смесью;
- механическое сопротивление (действию нагрузки и теплового расширения);
- сопротивляемость действию противогололедных реагентов;
- совместимость с асфальтобетонной смесью;
- устойчивость к воздействию высоких температур в процессе укладки горячей асфальтобетонной смеси.

Гидроизолирующие материалы для плиты проезжей части можно разделить на три основные категории:

А. Наклеиваемые рулонные системы. Состоят из предварительно сформированных рулонов гидроизоляционного материала на основе битумных полимерных и эластомерных материалов. Они с помощью битумного адгезива (клея) наклеиваются на плиту проезжей части моста с перекрытием для создания непрерывной мембраны

Б. Распыляемые системы. Делятся на три разновидности – акриловые, полиуретановые и битумные материалы. Напыляемые жидкие полиуретановые и акриловые мембраны имеют определенные ограничения: низкую адгезию с асфальтобетонным покрытием, что может привести к преждевременной деформации покрытия, и возможность повреждения гидроизолирующей мембраны строительной техникой при фрезеровании во время проведения работ по ремонту дорожной одежды.

В. Мастичная гидроизоляция. Толщина мастичного слоя (который не содержит заполнителя, как литой асфальтобетон) обычно составляет от 8 до 10 мм. Иногда в мастику добавляется резина или полимеры, особенно для стальных мостов, в связи с более высокими динамическими нагрузками.

Защитный слой

В большинстве случаев защитный слой представляет собой слой литого асфальта. Этот слой также служит в качестве второго слоя гидроизоляции. Непористый литой асфальтобетон обычно используется в качестве защитного слоя в дорожной одежде мостового полотна. По различным причинам в некоторых странах предпочтение отдается

обычному асфальтобетону в качестве защитного слоя на железобетонной плите проезжей части. Защитный слой на металлической ортотропной плите проезжей части защищает сталь от коррозии и обеспечивает плавную передачу нагрузки от поверхностного слоя к ортотропной плите проезжей части. Следовательно, защитный слой должен быть устойчив к действию нефти, топлива, воды и минеральных солей, менее восприимчив к погодным условиям.

Подповерхностные и поверхностные дренажные системы

Успешная и эффективная дренажная система на плите проезжей части моста должна включать как поверхностный, так и подповерхностный дренаж. В противном случае вода может собираться в лужи или проникать в слои дорожной одежды, и ее присутствие может тормозить движение и вызывать аквапланирование.

Вода может замерзать и превращаться в лед или снег, приводя к образованию ледовых пятен и необходимости водоотвода. Кроме того, это может привести к нарушению основной функции моста – обеспечивать движение транспорта, дождь может содержать агрессивные компоненты, которые могут вызвать деградацию материала конструкций. Поэтому для успешной и эффективной работы дренажной системы моста следует принимать во внимание и поверхностный и подповерхностный дренаж.

Если нет подповерхностного дренажа, то вода проникает в слой асфальтобетона, который лежит на гидроизолирующей мембране плиты проезжей части. Ударное действие движущегося транспорта на насыщенный водой асфальтобетон может привести к ослаблению проезжей части и, в конечном итоге, всей конструкции моста.

Правильный дренаж плиты проезжей части моста обеспечивает:

- эффективное удаление воды с проезжей части моста, повышение безопасности движения через уменьшение риска аквапланирования.
- долгосрочную эксплуатацию и конструктивную целостность дорожной одежды.

Поверхность / Асфальтобетонный слой

Поверхностный слой должен обеспечивать хорошее сцепление и сопротивляемость заносу, иметь ровную поверхность и низкий уровень шума, что сделает движение транспорта безопасным и комфортным.

Для длительного сохранения требуемых характеристик поверхностный слой должен:

- иметь достаточное сопротивление износу;
- иметь сопротивляемость действию топлива, воды и минеральных солей;
- иметь слабую восприимчивость к погодным условиям;
- служить защитой плиты проезжей части и быть гидроизолирующим слоем;
- иметь высокую стабильность;
- быть устойчивым к усталостным разрушениям;
- сохранять упругость, т.е. быть устойчивым к остаточной деформации;
- быть способным распределять нагрузку.

Для обеспечения достаточно высокой адгезии с нижележащим слоем требуется связующий слой, как раз и обеспечивающий хорошую адгезию. В общем случае существует три типа связующих слоев, отличающихся применяемым материалом – на основе горячего жидкого битума, на основе битумной эмульсии (холодного жидкого битума) и на основе синтетических смол. Связующий слой на основе синтетических смол состоит из холодных упрочненных эпоксидных смол, посыпанных песком.

Поверхностный слой выполняется из асфальтобетона. Как правило, на мостах используются такие типы асфальтобетонных смесей, как плотный асфальтобетон, литой асфальтобетон и щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА).

Асфальтобетонные слои

Асфальтобетонные слои для стальных ортотропных плит проезжей части

Поскольку стальная ортотропная плита проезжей части более гибкая, чем железобетонная плита проезжей части, поверхностный слой должен допускать большие перемещения без растрескивания, что приводит к конфликту с требованием высокой жесткости, обеспечивающей хорошие эксплуатационные свойства. В стальных конструкциях имеют место большие деформации ортотропной плиты проезжей части, и поэтому усталостные разрушения асфальтобетонных слоев более важны для стальных мостов, чем для бетонных мостов (где такой проблемы нет). Таким образом, необходимо найти оптимум между со-

противлением к появлению остаточных деформаций (приводящих к образованию колеи) и сопротивлением усталости – образованию трещин. В некоторых случаях на стальных мостах применяется асфальтобетон на эпоксидном связующем (например, на мосту Хамбер в Великобритании).

В общем случае толщина стального настила ортотропной плиты составляет от 10 до 14 мм, а толщина слоя асфальтобетона – от 35 до 80 мм.

Чтобы уменьшить собственный вес мостовой конструкции, вес стали ортотропной плиты и дорожной одежды на плите проезжей части необходимо свести к минимуму.

Асфальтобетонные слои на железобетонных плитах проезжей части мостов

Железобетонные плиты проезжей части мостов являются наиболее распространенной конструкцией и также подвержены растрескиванию под действием временной нагрузки и усадки. Они могут подвергаться деструкции в результате разрушения бетона от попеременного замораживания и оттаивания, истирания, действия агрессивных сред, коррозии арматуры. Поэтому должны быть приняты меры по недопущению или минимизации попадания на них влаги, насыщенной солями. Прогнозируемый срок службы железобетонных мостов оценивается в 100 лет. Одним из условий обеспечения столь длительного срока службы является высококачественная гидроизоляция совместно с высококачественной дорожной одеждой из асфальтобетона.

Основные функциональные требования к асфальтобетонной дорожной одежде включают водонепроницаемость в любых условиях, механическую стабильность (сопротивляемость действию нагрузки от транспорта, включая действие сжимающих и сдвигающих сил на кривых, а также во время торможения или ускорения, сопротивляемость растрескиванию и расслоению под влиянием колебаний температуры и действия нагрузки от проходящего транспорта, сохранение механического и химического сопротивления при нормативных нагрузках, погодных условиях и химических способах борьбы с гололедом).

Асфальтобетонные слои обычно состоят из защитного слоя и поверхностного слоя. Защитный слой в большинстве случаев изготавливается из литого асфальтобетона или модифицированного асфальтобетона, которые, в отличие от обычного асфальтобетона, характеризуются высоким содержанием заполнителя и низкой пористостью. Асфаль-

тобетон для поверхностного слоя должен быть жестким. Защитный слой проектируется так, чтобы его жесткость была меньше жесткости поверхностного слоя. Для обеспечения стабильности дорожной одежды и снижения теплового воздействия на слой гидроизоляции, располагающийся ниже, защитный слой должен иметь достаточную толщину.

Защитный слой должен быть стабильным и плотным, для того чтобы защитить нижележащий слой гидроизоляции от механических повреждений и предотвратить проникание воды с поверхности.

На небольших мостах нередко поверхностный слой такой же, как и на дорожной одежде на подходах к мосту. На больших мостах поверхностные слои могут выполняться из различных типов асфальтобетона, таких как щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), тонкослойный асфальтобетон и другие. Поверхностный слой должен быть жесткого типа или с использованием битума, модифицированного полимерами (полимербитумного вяжущего). Проектировать асфальтобетонную смесь для железобетонных плит проезжей части легче из-за их большой жесткости.

Смеси битумные, используемые для асфальтобетонных слоев на железобетонных плитах проезжей части

Под действием нагрузки от транспорта в плите проезжей части возникают упругие деформации. Эти повторяющиеся деформации воспринимаются асфальтобетонным слоем и не должны приводить к образованию усталостных трещин, поэтому сплошность (неразрывность) при деформировании является главным конструктивным требованием.

На плитах проезжей части обычно применяются укатываемый (уплотняемый) асфальтобетон (горячий укатываемый асфальтобетон или щебеночно-мастичный асфальтобетон) и литой асфальтобетон.

Наиболее часто используемыми на плитах проезжей части мостов материалами являются:

1. Литой асфальтобетон. Отличается тем, что поры в нем заполнены битумом. Основные характеристики литого асфальтобетона следующие:

– связующее образует непрерывную фазу, которая является достаточно жидкой, чтобы заполнить поры;

– до тех пор, пока литой асфальтобетон сохраняет вязкоупругие свойства, он не подвергается растрескиванию. Для повышения его устойчивости к остаточным деформациям используются специальные до-

бавки, такие как термопластичные эластомеры, которые обеспечивают упругие свойства, а также добавки, которые делают связующее более жестким, к ним относятся парафины, полимеры, природный асфальт;

- для получения литого асфальтобетона могут быть использованы несколько модифицированные обычные асфальтобетонные заводы;

- поры в литом асфальтобетоне переполнены мастикой. Это очень термопластичный материал, не подвергающийся растрескиванию, но чувствительный к деформации;

- из-за переполненных пустот и отсутствия устойчивой формы литая смесь не нуждается в уплотнении;

- из-за высокого содержания наполнителя и связующего литой асфальтобетон имеет гладкую поверхность и слабое сцепление с колесом автомобиля. Для улучшения сопротивления скольжению в литой асфальтобетон обычно втапливается мелкий очерненный заполнитель (щебенка);

- сопротивление остаточной деформации обеспечивается не заполнителем, а мастичным вяжущим, состоящим из тяжелого битума (45/60, 20/30 или смесь 45/60 и обычного или модифицированного битума), и большим процентом наполнителя;

- низкая пористость обеспечивает непроницаемость этих видов смесей;

- слои дорожной одежды из модифицированного литого асфальтобетона могут применяться в сочетании с другими типами слоев дорожной одежды:

- из-за значительной жесткости литого асфальтобетона его приготовление и применение производится при достаточно высоких температурах;

- для укладки литого асфальтобетона на плите проезжей части моста необходимо использовать специальную распределительную машину, асфальтирование небольших участков может производиться вручную.

Несмотря на то, что производство и применение литого асфальтобетона более трудоемко по сравнению с укатываемым асфальтобетоном, литой асфальтобетон может испытывать большие деформации без появления трещин, из-за его большой эластичности. Кроме того, сцепление литого асфальтобетона с нижележащими слоями лучше, чем у укатываемого асфальтобетона.

2. Модифицированный асфальтобетон. Там, где асфальтобетон используется на железобетонных плитах проезжей части мостов в качестве защитного слоя, в большинстве случаев он представляет собой модифицированный асфальтобетон с высоким содержанием заполнителя размерами больше 4 мм и с низкой пористостью (менее 4 % от объема). Модифицированный асфальтобетон приготавливается с использованием жесткого битума с высоким содержанием связующего.

Требования к асфальтобетонным дорожным одеждам на мостах основываются на требованиях к асфальтобетонным дорожным одеждам на автомобильных дорогах, но они более строгие, требуют использования более прочного материала, контроля эксплуатационных свойств, а также более ответственного контроля в процессе выполнения работ.

3. Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА). Является более надежным материалом для плит проезжей части мостов, обладающим высоким сопротивлением усталости и появлению остаточной деформации (т.е. достаточной жесткостью), и может быть произведен на обычном асфальтобетонном заводе и уложен с помощью асфальтоукладчика. ЩМА сопротивляется образованию остаточных деформаций (колееобразованию) из-за контакта между компонентами щебеночного каркаса. Наличие достаточной пористости в уплотняемом слое предотвращает чрезмерное заполнение пор смесью.

4. Сильно модифицированные асфальтобетонные смеси. Проектирование подходящей смеси для стальной плиты проезжей части является сложной задачей, поскольку смесь должна быть очень низкопористой, очень гибкой, сопротивляться колееобразованию. Поэтому сильно модифицированный асфальтобетон применяется как гидроизоляционный материал на плитах проезжей части мостов. Часто модификаторы добавляются к битуму, чтобы улучшить характеристики смеси. Смеси с высоким содержанием полимера (примерно 7,5 %) хорошо колееустойчивы по сравнению с другими материалами. Гибкость смеси позволяет проектировщику использовать более широкий спектр битумов для удовлетворения любым специальным требованиям, более твердые битумы для усиления сопротивления колееобразованию, а более мягкие битумы (в случае металлической плиты проезжей части) – для усиления сопротивления усталостному трещинообразованию.

5. Пористый асфальтобетон. В некоторых странах (например, в Нидерландах) в качестве поверхностного слоя используется порис-

тый асфальтобетон. Его, как правило, укладывают поверх системы гидроизоляции. Пористый асфальтобетон содержит большое количество пор, примерно от 20 до 25 % от объема, что позволяет уплотнять его под давлением. Кроме того, стабильность слоя из пористого асфальтобетона должна быть достаточной для его использования в качестве основного слоя дорожной одежды.

6. Эпоксидный асфальтобетон. Состоит из двух фаз связующего, в котором крупнозернистое асфальтовое связующее служит исходной фазой, а жидкая двухкомпонентная эпоксидная смола – непрерывной фазой. Материал изготавливается и укладывается в целом так же, как горячий асфальтобетон, но в результате получается исключительно прочная и гибкая поверхность, что идеально подходит для ортотропных плит проезжей части. Этот материал использовался на мостах в нескольких странах мира. Однако это «трудный» продукт, поскольку он нуждается в особой технологии приготовления и укладки в связи с ограниченным временем схватывания (время для застывания асфальтобетона весьма мало, иногда менее 1 ч).

Эксплуатация и ремонт

Без своевременного выполнения работ по содержанию бетон железобетонных плит проезжей части мостов подвержен разрушению, а стальная арматура – коррозии, в частности, от действия противогололедных жидкостей или солей. (Коррозия арматуры на проезжей части железобетонных плит, вызванная действием солей воздуха или противогололедных солей приводит к необходимости проводить работы по содержанию, ремонту или даже замене плит проезжей части.) Насыщение влагой поверхности асфальтобетонного покрытия может привести к преждевременной деформации и серьезным повреждениям.

Типы повреждений, которые могут появиться на поверхности стальных ортотропных плит проезжей части мостов

Остаточная деформация. Вызывается действием очень высоких и повторяющихся (циклических) напряжений.

Растрескивание. Усталостное растрескивание материалов дорожной одежды вследствие повторяющихся напряжений (сдвиговых или растягивающих), вызванных воздействием проходящего транспорта, окружающей среды, или вследствие плохой конструкции. Когда эти трещины достигают металла ортотропной плиты проезжей части, она

начинает корродировать, что может привести к нарушению сцепления дорожной одежды с ней.

Образование пузырей. Происходит вследствие местного отслаивания (вздутия) слоя гидроизоляции, когда слой гидроизоляции укладывается на слой, содержащий воду. Когда горячий асфальтобетон укладывают на такой слой, вода испаряется, образуя пузырьки, что проявляется на поверхности в виде изолированных бугорков.

Шелушение. Представляет собой отслаивание (потерю каменных частиц с поверхности) и образование выбоин. Вызывается растрескиванием, потерей сцепления или другими повреждениями. Шелушение может серьезно снизить сцепление колеса с покрытием и, следовательно, поставить под угрозу безопасность дорожного движения.

Иногда повреждения характеризуются видом вызывающих их причин. Например, они могут быть вызваны действием механизмов, уменьшающих прочность дорожной одежды, т.е. уменьшающих сцепление между плитой проезжей части и слоями дорожной одежды, старением битума, деградацией материала заполнителя (химическая деструкция, вызванная кислородом, водой, температурой и солнечной радиацией) и снижением прочности битумных материалов из-за низкой вязкости при высоких температурах. После того как сцепление между стальной плитой проезжей части и поверхностными слоями нарушено, разрушение дорожной одежды – лишь вопрос времени.

Можно указать несколько причин снижения сцепления между слоями, среди них следующие:

- большие касательные напряжения на границе дорожной одежды и плиты проезжей части, вызванные ускорением или торможением колесной нагрузки, которые могут ослабить, а затем и нарушить сцепление на границе;

- довольно высокая температура применяемой смеси. Она может увеличить температуру стальной плиты проезжей части и привести к росту напряжений на ее поверхности;

- вибрации, возникающие в плите проезжей части от движущегося транспорта, также могут уменьшить сцепление на границе;

- сдвигающие силы (в продольном и поперечном направлениях) повышаются с увеличением уклона проезжей части моста и могут привести к образованию трещин в повышенных зонах конструкции.

Профилактическое содержание, определяемое как плановая стратегия применения экономически эффективных методов ремонта в нужное время, позволит сохранить и даже продлить срок службы моста. Су-

существует несколько способов ремонта дорожной одежды на стальной плите проезжей части моста: замена поверхностного слоя асфальтобетона или удаление всей дорожной одежды и ее реконструкция.

Возможные повреждения дорожных одежд на железобетонной плите проезжей части моста

Для дорожных одежд на железобетонной плите проезжей части наиболее значимыми факторами, способными вызвать повреждения, являются: слабая адгезия между слоем гидроизоляции и асфальтобетонным покрытием, а также насыщение асфальтобетонного покрытия влагой. Они могут быть причиной преждевременной деформации, если асфальтобетонное покрытие имеет недостаточную толщину и плохо уложенный связующий слой.

При ремонте растрескавшейся проезжей части моста следует установить, являются ли силовые или несиловые трещины критическими: вдобавок следует установить химические и гидроизоляционные требования и оценить, повлияет ли ремонт на асфальтобетонное покрытие. Некритические силовые и несиловые трещины могут быть залечены применением инъектирования эпоксидной смолы под низким давлением, такая защита продлит жизненный цикл поверхности износа.

Предпочтение должно отдаваться плановой стратегии сохранения и продления срока службы моста до появления разрушений, в том числе:

- очистка, включающая ежегодную помывку водой всех плит проезжей части, дренажа, опорных частей, деформационных швов, подферменников и верха опор, устоев, железобетонных бордюров и парапетов;

- профилактические работы по техническому обслуживанию, включая окраску, залечивание, герметизацию и рутинный незначительный ремонт проезжей части и перил;

- расширенный ремонт, включая поддомкрачивание конструкций, ремонт трещин, инъекцию эпоксидной смолы, ремонт и регулировку опорных частей, ремонт и герметизацию деформационных швов, ремонт или усиление основных конструктивных элементов, включая стрингеры, балки, опоры и подферменники, устои и фундаменты, ремонт подводных частей, ремонт плиты проезжей части, а также антикоррозионную защиту и герметизацию;

- работы по содержанию русла, включая удаление мусора, укрепление берегов и корректировку размыва.

Выводы

Применение асфальтобетона обеспечивает лучшее и безопасное качество езды и соответствует ожиданиям водителей как на большинстве дорог, так и на проезжей части мостов.

Современный асфальтобетон в сочетании с хорошо продуманными решениями по гидроизоляции и соответствующему содержанию в состоянии обеспечить проектный срок службы мостов в 120 лет.

Присущие асфальтобетону гидроизоляционные свойства могут быть эффективно использованы при применении литого асфальтобетона.

Для того чтобы обеспечить низкие эксплуатационные расходы, высокие эксплуатационные свойства бетона или защиту стали от коррозии могут быть использованы различные специальные гидроизолирующие материалы и системы.

Асфальтобетонные дорожные одежды на плитах проезжей части мостов должны воспринимать нагрузку от транспорта, передавать их на несущие конструкции и сохранять способность сопротивляться деформациям, а также обеспечивать хорошие сцепные качества для автомобилей. В то же время они должны защитить конструкцию моста от поверхностных вод, которые зимой содержат противогололедные соли, провоцирующие развитие коррозии. Эти функции обычно не могут быть выполнены или выполняются только частично одним материалом, и потому должно быть использовано разделение слоев дорожной одежды по функциям.

Как правило, дорожная одежда на плите проезжей части моста включает сцепляющий слой со слоем гидроизоляции, защитный, адгезионный и поверхностный слой. Толщина дорожной одежды на мосту может быть разной в зависимости от типа плиты проезжей части.

Уплотняемый слой должен покрывать всю поверхность плиты проезжей части моста. Железобетонная плита проезжей части обычно грунтуется праймером из битумной эмульсии, эпоксидной смолы, полиуретана или аналогичного материала.

Эффективная дренажная система моста должна обеспечивать дренаж как поверхностных, так и подповерхностных вод. Для обеспечения длительного срока службы важно выполнять гидроизоляцию совместно с высококачественной дорожной одеждой.

Для обеспечения достаточно сильного сцепления между асфальтобетонным слоем и нижележащими слоями требуется хороший адге-

зионный слой, для выполнения которого может использоваться горячий жидкий битум, битумная эмульсия или искусственная смола.

Поверхностные слои должны иметь хорошее сопротивление скольжению, ровную поверхность, низкий уровень шума, достаточное сопротивление деградации, действию топлива, воды и минералов, низкую зависимость от погодных условий, обеспечивать гидроизоляцию, высокую стабильность, сопротивляемость усталостным нагрузкам, сопротивляемость остаточным деформациям (колееобразованию), а также возможность распределять нагрузку для обеспечения безопасной и комфортной езды. Поверхностный слой обычно изготавливается из асфальтобетона, в качестве которого на мостах может использоваться плотный, литой или щебеночно-мастичный асфальтобетон.

В стальных конструкциях наблюдаются большие деформации ортотропной плиты проезжей части, поэтому сопротивляемость усталости асфальтобетонных слоев для стальных мостов более важна, чем для железобетонных мостов. В разных странах используются различные материалы для асфальтобетонных покрытий и слои разной толщины.

Литой асфальтобетон обычно используется на стальных плитах проезжей части мостов, а также в качестве гидроизоляционного слоя и в стальных и в железобетонных мостах. Литой асфальтобетон является очень термопластичным материалом, и в нем трещины не развиваются быстро, но он чувствителен к деформации. Модифицированный щебеночно-мастичный асфальтобетон может выступать в качестве альтернативы литому асфальтобетону.

Эпоксидный асфальтобетон состоит из двух фаз связующего, в котором крупнозернистое асфальтовое связующее служит исходной фазой, а жидкая двухкомпонентная эпоксидная смола – непрерывной фазой. Этот материал производится и укладывается так же, как и горячий асфальтобетон.

Асфальтобетонные смеси для железобетонных плит проезжей части мостов проектируются легче из-за их жесткого поведения. Жесткость асфальтобетона для поверхностного слоя может быть отрегулирована. Защитный слой должен быть запроектирован более мягким, чем поверхностный слой. Как правило, на небольших мостах поверхностный слой делают таким же, как на подходах. На больших мостах могут использоваться различные поверхностные слои, например, такие как щебеночно-мастичный асфальтобетон и др.

Список литературы

1. Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов / И.Г. Овчинников, В.П. Макаров, С.Л. Согоцьян, А.В. Ефанов, Л.С. Согоцьян. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2004. – 214 с.
2. Инновационные технологии устройства мостового полотна на современных мостовых сооружениях (дорожная одежда и щебеночно-мастичные деформационные швы) / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, В.А. Илюшкин, И.И. Овчинников, С.В. Овсянников. – Саратов: Рата, 2008. – 204 с.
3. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Распоров О.Н. Выбор оптимального решения конструкции дорожной одежды и технологии ее устройства на объектах мостового перехода у села Пристанное Саратовской области // Дороги России XXI века. – 2004. – № 2. – С. 66–72.
4. Макаров В.Н., Овчинников И.Г. Опыт строительства дорожной одежды на мостовых объектах саратовской области // Сборник материалов международного семинара «Конструкции покрытий проезжей части мостовых сооружений с интенсивностью движения более 7–8 тысяч авт./сут с учетом климатических условий г. Москвы». – М., 2006. – С. 44–51.
5. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Овчинников И.И., Распоров О.Н. Проблема устройства современных дорожных покрытий на мостовых сооружениях с ортотропной и железобетонной плитой проезжей части // Красная линия. Дороги. – 2009. – № 38/8. – С. 42–47.
6. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Овчинников И.И., Распоров О.Н., Удалов М.В. Проблема устройства современных дорожных покрытий на мостовых сооружениях с ортотропной и железобетонной плитой проезжей части (продолжение) // Красная линия. – 2009. – № 41/9. – С. 34–37.
7. Овчинников И.Г., Дьяков К.А., Черсков Р.М., Зинченко Е.В. Противостоять сдвигающим напряжениям // Дорожная держава. – 2011. – № 35. – С. 42–45.
8. Влияние типов гидроизоляции и дорожной одежды мостовых сооружений на сопротивляемость деформациям сдвига / И.Г. Овчинников, К.А. Дьяков, Р.М. Черсков, Е.В. Зинченко // Строительные материалы. – 2011. – № 10. – С. 50–54.

9. Овчинников И.Г., Телегин М.А. Дорожная одежда на ортотропных плитах мостов // Дорожная держава. – 2011. – № 35. – С. 34–39.
10. Овчинников И.Г., Зинченко Е.В. Проблема устройства гидроизоляции и дорожной одежды на проезжей части мостовых сооружений с большими продольными уклонами // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідраліки: наук.-техн. зб. / голов. ред. А.М. Тугай. – Вип. 17. – Киев: КНУБА, 2011. – С. 49–54.
11. Овчинников И.Г., Телегин М.А. Особенности моделирования поведения многослойной дорожной одежды на ортотропных плитах мостов // Актуальные проблемы городского строительства: сб. тр. Международ. науч.-техн. конф. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2013. – С. 205–223.
12. Asphalt pavements on bridge decks / European Asphalt Pavement Association. – 2013. – 33 p.
13. Medani T.O. Asphalt Surfacing Applied to Orthotropic Steel Bridge Decks – A Literature Review. Report 7-01-127-1 / Delft University of Technology. – Netherlands, 2001.
14. Design of Concrete Bridge Deck Rehabilitation, Best Practice Guideline; Alberta Transportation. – Canada, 2003. – URL: <http://www.transportation.alberta.ca/Content/docType30/Production/BPG4.pdf>
15. Bridge Decks Solutions Hanoi, Shell Bitumen. – 15 December 2005.

References

1. Ovchinnikov I.G., Makarov V.P., Sogots'ian S.L., Efanov A.V., Sogots'ian L.S. Mostovoe polотно avtodorozhnykh mostov s primeneniem litogo asfal'tobetona i sovremennykh deformatsionnykh shvov [The deck of highway bridges using mastic asphalt and modern expansion joints]. Saratov: Saratovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2004, 214 p.
2. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Iliushkin V.A., Ovchinnikov I.I., Ovsiannikov S.V. Innovatsionnye tekhnologii ustroistva mostovogo polotna na sovremennykh mostovykh sooruzheniiakh (dorozhnaia odezhda i shchenobenochno-mastichnye deformatsionnye shvy) [The innovative technology of the device of the deck on the modern bridge structures (road wear and crushed stone-mastic expansion joints)]. Saratov: Rata, 2008, 204 p.
3. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Rasporov O.N. Vybor optimal'nogo resheniia konstruktsii dorozhnoi odezhdy i tekhnologii ee ustroistva na ob'ektakh mostovogo perekhoda u sela Pristannoe Saratovskoi oblasti [The choice of optimal solutions for the design of a pavement and

technology of its devices on the objects of the bridge near the village Pristane Saratov region]. *Dorogi Rossii XXI veka*, 2004, no.2, pp. 66-72.

4. Makarov V.N., Ovchinnikov I.G. Opyt stroitel'stva dorozhnoi odezhdy na mostovykh ob'ektakh saratovskoi oblasti [Experience in the construction of pavement on bridge objects of the Saratov region]. *Sbornik materialov mezhdunarodnogo seminara "Konstruktsii pokrytii proezzhei chasti mostovykh sooruzhenii s intensivnost'iu dvizheniia bolee 7–8 tysiach avt./sut s uchetom klimaticheskikh uslovii goroda Moskvy"*. Moscow, 2006, pp. 44-51.

5. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ovchinnikov I.I., Rasporov O.N. Problema ustroistva sovremennykh dorozhnykh pokrytii na mostovykh sooruzheniakh s ortotropnoi i zhelezobetonnoi plitoy proezzhei chasti [The problem of modern pavements on bridge structures with orthotropic and concrete roadway slab]. *Krasnaia liniia. Dorogi*, 2009, no. 38/8, pp. 42-47.

6. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Ovchinnikov I.I., Rasporov O.N., Udalov M.V. Problema ustroistva sovremennykh dorozhnykh pokrytii na mostovykh sooruzheniakh s ortotropnoi i zhelezobetonnoi plitoy proezzhei chasti (prodolzhenie) [The problem of modern pavements on bridge structures with orthotropic and concrete roadway slab (continue)]. *Krasnaia liniia. Dorogi*, 2009, no. 41/9, pp. 34-37.

7. Ovchinnikov I.G., D'iakov K.A., Cherskov R.M., Zinchenko E.V. Protivostoiat' sdvigaiushchim napriazheniiam [To resist shear stresses]. *Dorozhnaia derzhava*, 2011, no. 35, pp. 42-45.

8. Ovchinnikov I.G., D'iakov K.A., Cherskov R.M., Zinchenko E.V. Vliianie tipov gidroizoliatsii i dorozhnoi odezhdy mostovykh sooruzhenii na soprotivliaemost' deformaciiam sdviga [The impact of types of waterproofing and pavement bridges on the resistance to shear deformation]. *Stroitel'nye materialy*, 2011, no.10, pp. 50-54.

9. Ovchinnikov I.G., Telegin M.A. Dorozhnaia odezhda na ortotropnykh plitakh mostov [Road clothing on orthotropic plates bridges]. *Dorozhnaia derzhava*, 2011, no. 35, pp. 34-39.

10. Ovchinnikov I.G., Zinchenko E.V. Problema ustroistva gidroizoliatsii i dorozhnoi odezhdy na proezzhei chasti mostovykh sooruzhenii s bol'shimi prodol'nymi uklonami [The problem of waterproofing and pavement on the roadway bridge structures with large longitudinal gradients]. *Naukovo-tehnichnyj zbirnyk "roblemy vodopostachannja, vodovidvedennja ta gidravliky"*. Ed. A.M. Tugai. Kiev: Kievskii natsional'nyi universitet stroitel'stva i arkhitektury, 2011, vol. 11, pp. 45-54.

11. Ovchinnikov I.G., Telegin M.A. Osobennosti modelirovaniia povedeniia mnogosloinnoi dorozhnoi odezhdy na ortotropnykh plitakh mostov [Features of modeling the behavior of multilayered pavement on orthotropic plates bridges]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferencii "Aktual'nye problemy gorodskogo stroitel'stva"*. Penza: Penzenskii gosudarstvennyi universitet arkhitektury i stroitel'stva, 2013, pp. 205-223.

12. Asphalt pavements on bridge decks. European Asphalt Pavement Association, 2013, 33 p.

13. Medani T.O. Asphalt Surfacing Applied to Orthotropic Steel Bridge Decks – A Literature Review. Report 7-01-127-1. Netherlands: Delft University of Technology, 2001.

14. Design of Concrete Bridge Deck Rehabilitation, Best Practice Guideline; Alberta Transportation. Canada, 2003, available at: <http://www.transportation.alberta.ca/Content/docType30/Production/BPG4.pdf>.

15. Bridge Decks Solutions Hanoi, Shell Bitumen. 15 December 2005.

Получено 12.08.2014

Об авторах

Овчинников Игорь Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и мосты» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Bridgesart@mail.ru).

Овчинников Илья Игоревич (Саратов, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета имени Ю.А. Гагарина (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, e-mail: Bridgesart@mail.ru).

Телегин Максим Александрович (Омск, Россия) – ассистент Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СИБАДИ) (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, корп. 3, e-mail: telegin_ma@mostovik.ru).

Хохлов Сергей Викторович (Москва, Россия) – руководитель направления «Транспортное строительство» корпорации «ТемпСтрой-Система®» (119296, Россия, Москва, Университетский пр., 5, e-mail: s.khokhlov@tempstroy.ru).

About the authors

Ovchinnikov Igor Georgievich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Motorways and Bridges, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: Bridgesar@mail.ru).

Ovchinnikov Ilia Igorevich (Saratov, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transportation construction, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Polytekhnicheskaya st., Saratov, 410054, Russian Federation, e-mail: Bridgeart@mail.ru).

Telegin Maksim Alexandrovich (Omsk, Russian Federation) – Assistant, Siberian State Automobile and Highway Academy (5, Avenue of Peace, Omsk, 644080, Russian Federation, e-mail: telegin_ma@mostovik.ru).

Khokhlov Sergei Viktorovich (Moscow, Russian Federation) – Head of Branch “Transportation construction”, Corporation “TempStroySistema®” (5, University av., Moscow, 119296, Russian Federation, e-mail: s.khokhlov@tempstroy.ru).