DOI 10.15593/24111678/2016.01.10

УДК 624.21

А.Н. Яшнов, С.Ю. Поляков

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС),
Новосибирск, Россия

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОКРЫТИЯ НА ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЕ

Проанализированы возможные причины малого срока службы асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите металлических пролетных строений автодорожных мостов, рассмотрены современные способы расчета нежестких дорожных одежд на предмет их соответствия фактическим условиям работы покрытия ездового полотна на мосту. Дано краткое описание конструктивных особенностей ортотропной плиты с точки зрения их влияния на работу одежд ездового полотна. Рассмотрены характер разрушения покрытия, уложенного на земляное полотно и мостовое сооружение, и сама методика расчета дорожной одежды с точки зрения возможности применения ее основных предположений, вводимых при моделировании грунтового массива, к конструкциям ортотропной плиты.

Одной из основных причин быстрого возникновения дефектов в дорожной одежде на металлических мостах является чрезмерная деформативность металлоконструкций проезжей части. Проанализированы требования современных нормативных документов, как действующих в настоящее время на территории Российской Федерации, так и зарубежных, к обеспечению достаточной жесткости элементов ортотропной плиты.

Для примера была проведена оценка напряженно-деформированного состояния элементов ездового полотна на мосту через р. Иртыш на Южном обходе г. Омска, в покрытии которого постоянно развиваются регулярные трещины, и выполнено сравнение напряжений, возникающих в асфальтобетоне, с его расчетным сопротивлением. Все расчеты производились в конечно-элементной среде MidasCivil на воздействие реально обращающейся нагрузки – трехосных грузовых автомобилей весом 12 т/ось, и на основании полученных данных определен характер развития повреждений при работе покрытия на ортотропной плите, имеющей полосовые продольные ребра жесткости.

Ключевые слова: автодорожный мост, ортотропная плита, дефекты асфальтобетонного покрытия, оценка напряженно-деформированного состояния, расчет нежестких дорожных покрытий.

A.N. Iashnov, S.Iu. Poliakov

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation

FEATURES OF THE CALCULATION OF THE PAVEMENT WHICH IS COATING BASED ON ORTHOTROPIC STEEL DECK

In article the possible reasons which behind the low service life of pavement are analyzed, the modern methods of pavements calculating in compliance with the actual working conditions are considered. Description of influence of the orthotropic steel deck design features on the cover work is given. The fracture properties of the coating on the roadbed and on the orthotropic steel deck are considered.

The basic premises of the calculation methods which are introduced in the simulation of soil mass considered for the orthotropic plate.

One of the main reasons which cause pavement defects is high deformability of structures roadway. The requirements of modern normative documents which operating in the Russian Federation and abroad and regulate the orthotropic steel deck stiffness were analyzed.

Evaluation of pavement's stress-strain state was done on the bridge over the Irtysh river where regular cracks is constantly evolving. Comparison of actual stresses with asphalt tensile strength made. The calculations is held in the finite element environment Midas Civil impact on real load (three-axle trucks with a 12 ton/axle weight). The nature of the damage development when the coating on orthotropic steel deck with strip ribs is defined.

Keywords: road bridge, orthotropic steel plate, the pavement defects, stress-strain state evaluation, pavement calculation.

В истории развития мирового и отечественного мостостроения четко прослеживается тенденция к постоянному увеличению длины пролетов искусственных сооружений, достигаемому как оптимизацией конструкций на основе более совершенных методик их расчета, так и разработкой и внедрением в производство новых материалов. В настоящее время на больших и внеклассных мостах пролеты перекрываются, как правило, металлическими конструкциями, поскольку сталь имеет наилучшие прочностные характеристики по сравнению с другими традиционными строительными материалами.

Главные несущие элементы абсолютного большинства металлических автодорожных мостов – сплошностенчатые балки, объединенные в поперечном направлении в нижнем уровне либо ортотропной плитой (ОП), либо поперечными связями (или и тем, и другим одновременно), а поверху – только ортотропной плитой, являющейся и элементом проезжей части. Металлическая ортотропная плита, имеющая различную жесткость в продольном и поперечном направлениях, – сравнительно новая конструкция в мостостроении. Продольная жесткость обеспечивается работой листа настила, а также продольных ребер полосового, фасонного или коробчатого сечения, поперечная – также листом настила и, кроме того, поперечными балками, устанавливаемыми с определенным шагом. Конструкция ортотропной плиты представлена на рис. 1.

Принято считать, что ортотропная плита изучена достаточно хорошо, и дальнейшей принципиальной переработки ее конструкции не предвидится. Действительно, она имеет малый погонный вес (что важно при значительной длине пролета) и вместе с тем достаточную продольную и поперечную жесткость, позволяющую включать в работу все поперечное сечение балки жесткости и грамотно распределять нагрузку в поперечном направлении между главными несущими элемен-

тами. Результаты испытаний металлических мостов [1–4], выполненные в том числе при участии авторов, подтверждают, что в реальных конструкциях значение коэффициента поперечной установки главных балок-стенок, объединенных посредством ОП в единую коробку, близко к 0,5, т.е. обеспечена равномерность распределения внешнего воздействия между основными несущими элементами. Создание столь удачной с инженерной точки зрения конструкции обусловлено накопленным опытом эксплуатации ортотропных плит и выполненными расчетно-теоретическими исследованиями.

Рис. 1. Конструкция ортотропной плиты

В нашей стране начало этой масштабной работе было положено в середине XX в. Но до 1968 г., когда в свет вышли Рекомендации по проектированию стальных ортотропных плит проезжей части автодорожных мостов [5], отдельные пролетные строения с ортотропной плитой проезжей части, построенные в СССР, были запроектированы при отсутствии соответствующих методических разработок как экспериментальные. Действовавшие в этот период СН 200-62 не регламентировали конструирование и расчет ОП, в результате чего по многим показателям, в том числе весовым, отечественные мостовые сооружения уступали зарубежным аналогам.

В дальнейшем основные рекомендации [5] нашли отражение в СНиП 2.05.03–84 и в СП 35.13330.2011. Были рассмотрены вопросы конструирования, определения усилий и проверки прочности элементов проезжей части, однако практически не затронута проблема их максимально допустимой деформативности. Критерии жесткости носят либо конструктивный характер, регламентируя минимальную тол-

щину листа настила и продольных ребер (причем без их связи друг с другом), либо расчетный, который отчасти, но все же недостаточно учитывает взаимозависимости геометрических параметров элементов ОП. Кроме того, вводимые ограничения деформативности установлены только применительно к ортотропной плите, что, на наш взгляд, не совсем верно. Лист настила, являющийся ее частью, непосредственно взаимодействует также с дорожной одеждой, следовательно, необходимо учитывать и зависимость работы ездового полотна от напряженно-деформированного состояния нижележащих конструкций, поскольку предельное состояние у асфальтобетона наступает гораздо раньше, чем разрушение элементов проезжей части. Это наводит на мысль о необходимости установления критерия минимально необходимой жесткости конструкции ортотропной плиты, обеспечивающей трещиностойкость и долговечность дорожного покрытия.

Если обратиться к современной нормативной документации, обязательной или рекомендуемой к применению, то можно заметить, что вопросам устройства ездового полотна на мостовых сооружениях уделено не так много внимания. В СП 35.13330.2011 приведены рекомендуемые материалы и минимально необходимая общая толщина покрытия. Другие издания, например «Нежесткие дорожные покрытия на металлических мостах» [6], по большей части являются обзорными – они обобщают российский и зарубежный опыт и на основании этого предлагают проверенные эмпирическим путем решения.

Научное сообщество Российской Федерации стало проявлять активный интерес к данному вопросу только в последнее время. Между тем необходимость решения этой проблемы и разработки конкретных мер назрела уже достаточно давно – срок службы дорожной одежды на мостовых сооружениях без существенных капитальных вложений редко превышает 5–6 лет, а первые трещины в асфальтобетонном покрытии более 30 % больших и средних металлических мостов появляются уже после первого года эксплуатации [7].

Такое положение вещей наводит на мысль, что существующая система проектирования ездового полотна на мостовых переходах не отвечает реальным условиям его работы на ортотропной плите проезжей части. И действительно, многие авторы [6–10], обращающие внимание на проблему низкого срока службы дорожной одежды на искусственных сооружениях, отмечают, что в большинстве случаев покрытие назначают, исходя из тех же соображений, что и на обычных

автомобильных дорогах. Однако данный подход совершенно не учитывает кардинальные различия в характере работы асфальтобетона на земляном полотне и на ортотропной плите.

В подтверждение этому можно привести результаты исследований, рассматривающих и оценивающих характер возникновения повреждений при многократном воздействии нагрузки. В дорожной одежде, укладываемой поверх грунтового массива, растягивающие напряжения возникают в ее нижней части, а в покрытии в составе мостовой конструкции – предположительно, как в нижней части (между продольными ребрами), так и в верхней (над продольными ребрами, стенками главных и поперечных балок). Механизм развития повреждений в асфальтобетоне при различных условиях его работы приведен на рис. 2.

Рис. 2. Характер развития повреждений в асфальтобетоне при различных условиях его работы: *а* – в составе автодороги на земляном полотне; *б* – на ортотропной плите проезжей части (предположительно)

Столь различный характер возникновения трещин обусловлен самой структурой основания, на которое укладывается асфальтобетонное покрытие. Грунт – сплошная однородная среда, имеющая постоянные механические характеристики и, как следствие, одинаковую податливость во всей области, учитываемой в расчете. Ортотропная же плита с точки зрения жесткости «дискретна», так как лист настила соединен с продольными ребрами, поперечными и главными балками, фактически выступающими в качестве упруго проседающих опор.

Поэтому можно сделать вывод, что состояние дорожного покрытия в большей степени определяется не общей, а именно локальной жесткостью основания в месте передачи на конструкцию нагрузки от транспортных средств. Этот тезис можно подтвердить примером экс-

плутации мостов с коробчатыми продольными ребрами на КАД г. Санкт-Петербурга, повышающими общую жесткость ортотропной плиты в сравнении с остальными типами поперечного сечения стрингеров, однако не предотвратившими возникновение дефектов в асфальтобетоне на искусственных сооружениях [8].

Но нашли ли отражение в нормах, регламентирующих проектирование конструкции ортотропных плит, какие-либо критерии деформативности данного элемента? Относительно Российской Федерации ответ уже был дан выше, обратимся теперь к зарубежному опыту.

Если проанализировать зарубежные нормы проектирования, то мы увидим более полную проработку обозначенной нами проблемы [11]. В странах ЕС, например, введены требования минимально необходимой жесткости продольного ребра с участком листа настила, отраженные в Eurocode 1993-2. Design of Steel Structures. Part 2: Steel Bridges (рис. 3). В США и Канаде есть ограничения по вертикальным перемещениям элементов ортотропной плиты – прогиб между поперечными балками не должен превышать величины от $1/1000$ пролета между поперечными балками согласно CAN/CSA-S6-00. Canadian Highway Bridge Design Code до $1/1200$ по AASHTO LRFD. Bridge Design Specifications. Причем в Канаде дополнительно введено ограничение максимальной разницы смещения соседних продольных ребер относительно друг друга, равное 2,5 мм (рис. 4). Следует отметить, что первоначально предельные прогибы ограничивали $1/300$ расстояния между поперечными балками, но последующий опыт эксплуатации заставил значительно ужесточить требования.

Рис. 3. Требования минимальной изгибной жесткости продольных ребер ОП в странах ЕС

Рис. 4. Требования минимальной изгибной жесткости конструкции ОП в США и Канаде

Следует отметить, что ограничение деформативности данного элемента мостового перехода дает хорошие результаты – дорожные одежды за рубежом эксплуатируются порой до 20 лет без капитального ремонта [12]. Хотя необходимо учесть, что столь значительный срок службы покрытия достигается не только за счет ограничения минимальной жесткости проезжей части, но и в результате использования специально проектируемых составов асфальтобетонных смесей, которые не применяются для автомобильных дорог на земляном полотне.

Введение данных жесткостных ограничений является следствием совершенствования методики расчета дорожной одежды, история развития которой достаточно подробно освещена в [13]. Отдельно хотелось бы отметить одно из значительных, на наш взгляд, событий – XVIII Международный дорожный конгресс, проходивший в 1984 г. в г. Сиднее, где отмечалось, что методы расчета дорожных одежд с теоретической точки зрения достигли совершенства и эффективность их использования в большей степени зависит теперь от точности, с которой могут быть определены физические параметры грунтов.

Действительно, можно согласиться с зарубежными исследователями, что свойства грунтового массива под автодорогой изменчивы, и потому их однозначное определение требует значительных трудозатрат. Но тогда еще более неясным становится отсутствие в РФ каких бы то ни было рекомендаций по расчету дорожной одежды на ортотропной плите, имеющей известные геометрические и физические характеристики.

В нашей стране работы по дальнейшему усовершенствованию методов расчета асфальтобетонного покрытия не прекращались – результатом этого стали ОДН 218.046–01 «Проектирование нежестких дорожных одежд», действующие в настоящее время, но относятся они

только к автомобильным дорогам на земляном полотне. Поэтому положения данного издания были проанализированы на предмет их соответствия действительной работе асфальтобетона на металлической ортотропной плите.

Согласно ОДН 218.046-01 дорожное покрытие рассчитывается по прочности по трем позициям:

- а) по допускаемому упругому прогибу;
- б) условию сдвигоустойчивости подстилающего слоя и малосвязных конструктивных слоев;
- в) на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

В рамках данной статьи рассмотрим только третью позицию, где сравнивается наибольшее растягивающее напряжение в покрытии с пределом прочности материала на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений, поскольку, согласно нашим предположениям, при наличии сцепления асфальтобетона с нижележащими слоями именно превышение фактических напряжений над расчетным сопротивлением и приводит к возникновению трещин.

Согласно принятой в настоящее время методике расчета дорожное покрытие вместе с рабочим слоем земляного полотна приводит к двухслойной расчетной модели: к нижнему (полубесконечному) упругому слою относят часть конструкции, расположенную ниже пакета асфальтобетонных слоев, к верхнему – соответственно покрытие ездового полотна. И если дорожную одежду можно заменить единым слоем с эквивалентной жесткостью, то моделировать элементы проезжей части так же, как и грунтовый массив (в качестве полубесконечного упругого слоя), на наш взгляд, не совсем целесообразно. Как уже было сказано ранее, грунт заменяется сплошной средой с постоянным модулем упругости на всем ее протяжении, жесткость же ортотропной плиты зависит от целого ряда факторов – шага и сечения продольных ребер и поперечных балок, а также толщины листа настила. Фактически ОП является подкрепленной ребрами пластиной, имеющей конечные геометрические размеры, поэтому для количественного выражения ее жесткости одного модуля упругости материала недостаточно – необходимо учитывать и геометрические параметры конструкции, от которых зависит величина вертикальных деформаций ОП.

Однако одних предположений для вынесения столь категоричных суждений о неприменимости действующей в настоящее время норма-

тивной документации по проектированию и расчету нежестких дорожных одежд к условиям их работы на металлических пролетных строениях явно недостаточно. Необходимы и расчетные исследования напряженно-деформированного состояния асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите. Для этого нами была выполнена оценка напряжений в слоях асфальтобетона на сооружении с ярко выраженными дефектами одежды ездового полотна – мосту через р. Иртыш на Южном обходе города Омска (рис. 5), где продольные и поперечные трещины вновь появлялись после каждого проведенного ремонта (рис. 6).

Рис. 5. Общий вид моста через р. Иртыш на Южном обходе г. Омска

Рис. 6. Дефекты проезжей части моста через р. Иртыш на Южном обходе г. Омска

Металлический пятипролетный мост через р. Иртыш полной длиной 621,6 м представляет собой неразрезную балочную систему, усиленную подпругными поясами и запроектированную под нагрузки А11 и НК-80. Поперечное сечение пролетного строения состоит из двух отдельных коробчатых балок, объединенных поверху посредством ортотропной плиты. Ортотропная плита проезжей части полной шириной 14 020 мм состоит из горизонтального листа толщиной 12 мм (согласно требованиям СНиП 2.05.03–84*), продольных ребер и поперечных балок. Продольные ребра полосовые, высотой 180 мм, расположены с шагом 350 мм по всей длине пролетного строения. Поперечные балки установлены с шагом 3500 мм и по всей ширине ортотроп-

ной плиты имеют тавровое сечение с высотой стенки от 400 до 660 мм и шириной полки 240 мм.

Для расчета была принята конструкция дорожной одежды по состоянию на 2014 г. Данные о материалах и толщине ее конструктивных элементов получены из отчета об обследовании мостового сооружения, выполненного специалистами Сибирского государственного университета путей сообщения [14]. Покрытие ездового полотна – асфальтобетонное из ЦМА-15, уложенное на оклеечную гидроизоляцию «Техноэластмост С». Фактическая толщина асфальтобетона была установлена по результатам нивелировки и составила 80 мм в пролете № 3, 120 мм в пролетах №№ 2 и 4 и 130 мм в пролетах №№ 1 и 5, слой гидроизоляции принят толщиной 6 мм по проектным данным.

Расчетное сопротивление покрытия ездового полотна зависит от ряда факторов – категории дороги, общего числа приложений нагрузки и т.д. Согласно методике, изложенной в ОДН 218.046–01, прочность материала монолитного слоя на растяжение при изгибе составляет $R_N = 2,45$ МПа. Фактический модуль упругости асфальтобетона зависит от типа и марки вяжущего. Поскольку данные о применяемом битуме отсутствуют, при расчете на растяжение при изгибе принят модуль упругости $E = 6000$ МПа (согласно письму ФГУ «Дороги России» в ответ на запрос характеристик асфальтобетона ЦМА).

Для определения напряженно-деформированного состояния асфальтобетона в процессе совместной работы его с металлоконструкциями пролетного строения плитными конечными элементами было смоделировано 10 панелей ортотропной плиты совместно с главными балками. Дорожное покрытие было задано объемными элементами.

Необходимо отметить, что схемы принятых в настоящее время нагрузок АК и НК далеко не в полной мере соответствуют реально обрабатываемым нагрузкам [15]. Поэтому конечно-элементная модель ортотропной плиты в составе пролетного строения была загружена трехосным грузовым автомобилем полным весом 30 тс с нагрузкой на заднюю ось 12 тс (по 6 тс на каждое колесо соответственно), более адекватно отражающим воздействие реальных транспортных средств. Нагрузка смоделирована распределенной на площади $0,2 \times 0,6$ м, что в целом совпадает с фактической площадью отпечатка колеса грузового автомобиля.

Общий вид конечно-элементной модели, а также нагрузка, моделирующая воздействие грузового транспортного средства, показаны на рис. 7.

Рис. 7. Расчетная модель в комплексе MidasCivil

Асфальтобетонное покрытие находится в сложном напряженном состоянии, и при расчете в программном комплексе MidasCivil могут быть получены все необходимые составляющие напряженно-деформированного состояния: нормальные, касательные и главные напряжения, а также эквивалентные напряжения по критерию Мизеса. При этом разрушение асфальтобетона будет происходить по главным растягивающим напряжениям – получено, что напряжения между продольными ребрами достигают 2,95 МПа при допустимых 2,45 МПа, причем возникают они в нижних фибрах покрытия. В верхних фибрах существенные растягивающие напряжения возникают, например, над стенками главных балок. Характер деформирования конструкции в результате воздействия заданной нагрузки и распределение напряжений по толщине покрытия показаны на рис. 8, 9. Таким образом, полученные результаты подтверждают возможность образования сетки трещин в покрытии на ортотропной плите при воздействии обрабатываемых нагрузок.

Полученные результаты позволяют продолжить численный эксперимент по уточнению возможных причин образования трещин, а также факторов, влияющих на их развитие, и дополнить критерии достаточной жесткости металлоконструкций проезжей части по условию предотвращения трещинообразования в асфальтобетоне на ортотропной плите.

Рис. 8. Характер деформирования конструкции между продольными ребрами и распределение главных растягивающих напряжений по толщине покрытия

Рис. 9. Характер деформирования конструкции над стенкой главной балки и распределение главных растягивающих напряжений по толщине покрытия

Очевидно, что необходимо расширить и саму методику расчета дорожной одежды с учетом специфических условий ее эксплуатации на металлических пролетных строениях.

Список литературы

1. Яшнов А.Н. Обследование и испытание автодорожного моста через р. Иртыш на Южном обходе г. Омска // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации фундаментов, мостов и автомобильных дорог. Механизация строительства. Охрана окружающей среды: материалы Рос. науч.-техн. конф., 17–19 ноября 2004 г. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2004. – С. 50–55.

2. Снежков И.И., Чаплин И.В., Яшнов А.Н. Определение доли нагрузки, приходящейся на главную балку пролетного строения по частотам собственных колебаний // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – С. 526–529.

3. Научно-технический отчет по обследованию и испытанию автодорожного моста через р. Надым на 991 км автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Старый Надым – Надым, км 982 – км 1000 / ЗАО «СибНИТ». – Новосибирск, 2015. – 81 с.

4. Научно-технический отчет по обследованию и испытанию автодорожного моста через р. Тура и путепровода по ул. Дамбовская на участке окружной автомобильной дороги г. Тюмени / ЗАО «СибНИТ». – Новосибирск, 2015. – 68 с.

5. Рекомендации по проектированию стальных ортотропных плит проезжей части автодорожных мостов. – М., 1968. – 17 с.

6. Нежесткие дорожные покрытия на металлических мостах. Обзорная информация. – М., 2004. – 82 с.

7. Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Распоров О.Н. Проблема устройства современных дорожных покрытий // Красная линия. Дороги. – 2009. – № 41. – С. 34–37.

8. Телегин М.А. Методика расчета дорожной одежды на ортотропной плите стальных мостов // Дороги и мосты. – № 26. – С. 205–211.

9. Сахарова И.Д. Дорожная одежда на ортотропной плите пролетных строений мостов // Совершенствование проектирования мостовых сооружений. – М., 2002. – С. 83–101.

10. Овчинников И.Г., Зинченко Е.В., Ильченко Е.Д. Сравнительный анализ применяемых конструкций дорожной одежды мостовых сооружений обхода г. Сочи, сданных в эксплуатацию до начала строительства Олимпийских объектов. Ч. 2. Основные повреждения дорожной одежды мостового полотна [Электронный ресурс] // Наукоеведение. – 2014. – № 5 (24). – URL: <http://naukovedenie.ru/> (дата обращения: 09.01.2016).

11. Телегин М.А. Сравнительный анализ нормативных требований по прочности, устойчивости и деформациям к ортотропным плитам пролетных строений мостов // Дороги и мосты. – 2009. – № 2 (22). – С. 201–214.

12. Овчинников И.Г., Овчинников И.И. Дорожная одежда на мостовых сооружениях: отечественный и зарубежный опыт // Наукоеведе-

ние. – 2014. – № 5 (24). – URL: <http://naukovedenie.ru/> (дата обращения: 09.01.2016).

13. Состояние современного методического обеспечения расчета и конструирования дорожных одежд / А.В. Кочетков [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 1. – С. 65–74.

14. Научно-технический отчет. «Проведение контроля измерения напряженно-деформированного состояния конструкций пролетного строения при проведении ремонта моста через реку Иртыш на км 814+820 (правый) автомобильной дороги Р-254 «Иртыш» Челябинск – Курган – Омск – Новосибирск. Южный обход г. Омска» / ЗАО «СибНИТ». – Новосибирск, 2014. – 102 с.

15. Саламахин П.М. Временные вертикальные нагрузки: проблемы гармонизации стандартов // Дороги. Инновации в строительстве. – № 18. – С. 22–25.

References

1. Iashnov A.N. Obsledovanie i ispytanie avtodorozhnogo mosta cherez r. Irtysh na Iuzhnom obkhode g. Omska [Inspection and testing of a road bridge over the Irtysh river on the Omsk southern bypass]. *Materialy Rossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii "Problemy proektirovaniia, stroitel'stva i ekspluatatsii fundamentov, mostov i avtomobil'nykh dorog. Mekhanizatsiia stroitel'stva. Okhrana okruzhaiushchei sredy"*. Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2004, pp. 50-55.

2. Snezhkov I.I., Chaplin I.V., Iashnov A.N. Opredelenie doli nagruzki, prikhodiashcheisia na glavnuui balku proletnogo stroeniia po chastotam sobstvennykh kolebanii [Determination on the natural frequencies of load part which attributable to the main beam]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse"*. Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2015, pp. 526-529.

3. Nauchno-tehnicheskii otchet po obsledovaniuu i ispytaniuu avtodorozhnogo mosta cherez r. Nadym na 991 km avtomobil'noi dorogi Surgut – Salekhard, uchastok Staryi Nadym – Nadym, km 982 – km 1000 [Scientific and technical report on the survey and testing of a road bridge over the river Nadym on 991 km of road Surgut – Salekhard, the site Old Nadym – Nadym, km 982 – km 1000]. Novosibirsk: ZAO "SibNIT", 2015. 81 p.

4. Nauchno-tekhnicheskii otchet po obsledovaniuu i ispytaniuu avtodorozhnogo mosta cherez r.Tura i puteprovoda po ul.Dambovskaia na uchastke okruzhnoi avtomobil'noi dorogi g. Tiumeni [Scientific and technical report on the survey and testing of road bridge over r. Tura and ul. Dambovskaya overpass at the site of Tyumen]. Novosibirsk: ZAO "SibNIT", 2015. 68 p.

5. Rekomendatsii po proektirovaniuu stal'nykh ortotropnykh plit proezzhei chasti avtodorozhnykh mostov [Recommendations for the design of steel orthotropic carriageway slabs of highway bridges]. Moscow, 1968. 17 p.

6. Nezhestkie dorozhnye pokrytiia na metallicheskih mostakh. Obzornaia informatsiia [Non-rigid pavements in the metal bridge. Overview]. Moscow, 2004. 82 p.

7. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Rasporov O.N. Problema ustroistva sovremennykh dorozhnykh pokrytii [The problem of construction of modern road surfaces]. *Krasnaia liniia. Dorogi*, 2009, no. 41, pp. 34-37.

8. Telegin M.A. Metodika rascheta dorozhnoi odezhdy na ortotropnoi plite stal'nykh mostov [The method of pavement calculation on orthotropic steel deck bridges]. *Dorogi i mosty*, no. 26, pp. 205-211.

9. Sakharova I.D. Dorozhnaia odezhda na ortotropnoi plite proletnykh stroenii mostov [Road pavement on orthotropic steel deck bridges]. *Sovershenstvovanie proektirovaniia mostovykh sooruzhenii*. Moscow, 2002, pp. 83-101.

10. Ovchinnikov I.G., Zinchenko E.V., Il'chenko E.D. Sravnitel'nyi analiz primeniaemykh konstruktsii dorozhnoi odezhdy mostovykh sooruzhenii obkhoda g. Sochi, sdannykh v ekspluatatsiiu do nachala stroitel'stva Olimpiiskikh ob'ektov. Chast' 2. Osnovnye povrezhdeniia dorozhnoi odezhdy mostovogo polotna [Analysis of bridge pavement on bypass the Sochi which were built before the construction of Olympic facilities. Part 2. The main damage of the pavement]. *Naukovedenie*, 2014, no. 5(24), available at: <http://naukovedenie.ru/> (accessed 09 January 2016).

11. Telegin M.A. Sravnitel'nyi analiz normativnykh trebovanii po prochnosti, ustoichivosti i deformatsiiam k ortotropnym plitam proletnykh stroenii mostov [Analysis of regulatory requirements for strength, stability and deformations for orthotropic steel deck bridges]. *Dorogi i mosty*, 2009, no. 2 (22), pp. 201-214.

12. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Dorozhnaia odezhda na mostovykh sooruzheniiakh: otechestvennyi i zarubezhnyi opyt [Road pavement at bridges: domestic and foreign experience]. *Naukovedenie*, 2014, no. 5 (24), available at: <http://naukovedenie.ru/> (accessed 09 January 2016).

13. Kochetkov A.V. [et al.] Sostoianie sovremennogo metodicheskogo obespecheniia rascheta i konstruirovaniia dorozhnykh odezhd [The state of modern methodological support of pavement calculating and designing]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*, 2011, no. 1, pp. 65-74.

14. Nauchno-tekhnicheskii otchet. Provedenie kontrolya izmereniia napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia konstruksii proletnogo stroeniia pri provedenii remonta mosta cherez reku Irtysh na km 814+820 (pravyy) avtomobil'noi dorogi R-254, Irtysh, Cheliabinsk – Kurgan – Omsk – Novosibirsk. Iuzhnyi obkhod g. Omska [Scientific and Technical Report. Carrying out control measurements of the stress-strain state superstructure during the repair of the bridge over the Irtysh River at km 814 + 820 (right) road P-254 “Irtysh, Chelyabinsk – Kurgan – Omsk”. Southern bypass Novosibirsk Omsk]. Novosibirsk: ZAO “SibNIT”, 2014. 102 p.

15. Salamakhin P.M. Vremennye vertikal'nye nagruzki: problemy garmonizatsii standartov [Temporary vertical loads: the problem of standards harmonization]. *Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve*, no. 18, pp. 22-25.

Получено 15.02.2016

Об авторах

Яшнов Андрей Николаевич (Новосибирск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, e-mail: yan@stu.ru).

Поляков Сергей Юрьевич (Новосибирск, Россия) – аспирант кафедры «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения (630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, e-mail: sergey19920@mail.ru).

About the authors

Andrei N. Iashnov (Novosibirsk, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Chair, Department of Bridges, Siberian Transport University (191, D. Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049, Russian Federation, e-mail: yan@stu.ru).

Sergei Iu. Poliakov (Novosibirsk, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Bridges, Siberian Transport University (191, D. Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049, Russian Federation, e-mail: sergey19920@mail.ru).