

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2021, №4, Том 8 / 2021, N 4, Vol. 8 <https://t-s.today/issue-4-2021.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/09SATS421.pdf>

DOI: 10.15862/09SATS421 (<https://doi.org/10.15862/09SATS421>)

Технологические особенности подготовки поверхности ортотропной плиты моста под укладку защитно-сцепляющего слоя

Парфенов А.А., Лазарева Т.Л.

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Лазарева Татьяна Леонидовна, e-mail: 000192@pnu.edu.ru

Аннотация. В статье приведены основные результаты отработки технологии подготовки поверхности ортотропной плиты неразрезных пролётных строений под укладку защитно-сцепляющего слоя амурского моста около г. Хабаровска.

Основание дорожного покрытия на стальных неразрезных пролётах выполнено из металлической плиты с ортотропными свойствами, которая находится под воздействием автомобильной нагрузки, распределенной с учетом толщины покрытия. Автомобильная нагрузка через ортотропную плиту передается на элементы ферм пролётных строений. Важное значение имеет подготовка поверхности ортотропной плиты. Это оказывает непосредственное влияние на надёжность защиты поверхности плиты от коррозии и долговечность дорожной конструкции в целом, что в свою очередь достигается посредством надёжного сцепления её с поверхностью металлической плиты.

Объектом исследований являются технологические особенности подготовки основания дорожного покрытия на стальных неразрезных пролётах ортотропной плиты автодорожного моста. Авторами представлены

результаты определения зернового состава песка для абразивной очистки плиты, и технологические параметры использования пескоструйного аппарата. Приведены данные замеров образования точки росы на пролетных строениях металлической ортотропной плиты, позволяющие дать рекомендации по исключению образования конденсата на очищаемой поверхности плиты.

Результаты экспериментальных исследований позволили также дать рекомендации в части максимально допустимой температуры воздействия на антикоррозийную защиту нижней поверхности ортотропной плиты, которая составила +120 °С.

Полученные результаты использованы для подготовки технического отчёта для ГП «Хабаровскавтодор» по научно-исследовательской работе, посвященной строительству автодорожной одежды на верхнем ярусе амурского моста.

Ключевые слова: ортотропная плита; металлические пролётные строения; автодорожный проезд моста; пескоструйная очистка; основание дорожной одежды; защитно-сцепляющий слой; антикоррозионная защита

Technological peculiarities of orthotropic bridge deck surface preparation for protective-adhesive layer laying

Aleksey A. Parfenov, Tatyana L. Lazareva

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

Corresponding author: Tatyana L. Lazareva, e-mail: 000192@pnu.edu.ru

Abstract. The article presents the main results of technology developing for continuous span orthotropic bridge deck surface preparation for protective-adhesive layer laying of the Amur bridge near the Khabarovsk.

The pavement base on continuous steel spans is made of a metal plate with orthotropic properties, which is under a vehicular load distributed taking into account the pavement thickness. The vehicular load is transferred through the orthotropic deck to the superstructures' truss members elements. Orthotropic bridge deck surface preparation is essential. This has a direct impact on the slab surface protection reliability from corrosion and the road structure durability as a whole, which is achieved through its reliable adhesion to the metal plate surface.

The research object is the technological peculiarities of the pavement base on continuous steel spans preparation of the vehicular bridge orthotropic bridge deck. The authors present the determination results of the grain sand composition for abrasive slab cleaning,

and the technological parameters of using a sandblasting machine. Measurement data of the dewpoint temperature formation on the spans of a metal orthotropic deck are given, which makes it possible to give recommendations on preventing the condensate formation on the slab surface that is being cleaned.

The experimental study results also made it possible to give recommendations regarding the maximum acceptable temperature of impact on the anti-corrosion protection of the lower orthotropic deck surface, which was +120°C.

The obtained results were used to prepare a technical report for the State Company "Khabarovskavtodor" on research work on the construction of road pavement on the upper deck of the Amur bridge.

Keywords: orthotropic deck; metal superstructures; road bridge passage; sandblasting; pavement base; protective-adhesive layer; anti-corrosion protection

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons "Attribution" («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons "Attribution" 4.0 Global License



Введение

Introduction

Динамичное развитие Дальневосточного региона является в настоящее время важным направлением политики Российской Федерации. Правительство РФ утвердило Национальную программу развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года¹. Из документа следует, что одним из факторов, сдерживающих экономическое развитие большинства регионов Дальневосточного федерального округа, является низкая плотность транспортной инфраструктуры. Перед дорожной отраслью региона поставлена цель — развивая сеть автомобильных дорог, к 2024 году привести к нормативному состоянию 85 % всех федеральных дорог и 50 % — региональных и муниципальных. Развитие дорожной сети позволит сделать Дальний Восток привлекательным для развития бизнеса и проживания народа.

Расширение сети транспортных коммуникаций Дальневосточного Федерального округа, доступных для общего пользования, реализуется Национальной программой России по развитию транспортной системы². В упомянутой программе запланировано возведение современных искусственных сооружений на автодорогах местного, межмуниципального (регионального) и федерального значения.

По территории Дальневосточного Федерального округа проходят два участка федеральной автомобильной трассы, связывающей восточные и западные территории нашей страны — это автомобильные дороги «Амур» и «Уссури». Границей раздела между этими участками является мост через реку Амур, построенный в 1916 г. как участок Транссибирской железной дороги. Автомобильного перехода через Амур у г. Хабаровска не существовало вплоть до 1999 г., когда был введен в строй автодорожный проезд на совмещенной части моста. Этот мост связал в единую сеть все регионы Дальневосточного Федерального округа.

Располагаясь на федеральной трассе М-370, автомобильная дорога «Уссури» от Хабаровска до Владивостока является главной транспортной артерией юга Дальнего Востока. Эта трасса связывает районы

¹ Национальная программа социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2020 г. N 2464-р. — Текст: электронный. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/565853199> (дата обращения: 29.09.2021).

² Развитие сети автомобильных дорог в субъектах Российской Федерации, входящих в состав Дальневосточного федерального округа: Рекомендации, утв. на заседании Комитета Совета Федерации по федеративному устройству, региональной политике, местному самоуправлению и делам Севера (протокол № 218 от 24 марта 2020 г.). — Текст: электронный // Совет Федерации Федерального собрания РФ: [сайт]. — URL: <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/114753/> (дата обращения: 29.09.2021).

Хабаровского и Приморского краев, по которым она непосредственно проходит, обеспечивая транспортный выход на Тихоокеанское побережье, с одной стороны, и федеральную автомобильную дорогу «Амур» Чита — Хабаровск — с другой. Развитие этого направления имеет решающее значение в реализации как внутрисоссийских транспортно-экономических связей, так и транзитных перевозок между странами Азиатско-Тихоокеанского региона и Западной Европы.

Постановка задачи исследований

Research objective

Дорожная одежда, работающая на ортотропной плите, должна выдерживать экстремальные условия, обусловленные погодно-климатическим воздействием резко-континентального муссонного климата юга Дальнего Востока. Кроме того, в результате вибрационных нагрузок, создаваемых движением подвижного состава железной дороги в нижнем ярусе моста, возможно возникновение опасных напряжений между дорожным покрытием и ортотропной плитой основания. Поэтому от качества устройства защитно-сцепляющего слоя между данными элементами зависит надежность эксплуатации всего мостового сооружения.

О важной роли прочности сцепления асфальтобетонного покрытия с металлическим листом ортотропной плиты свидетельствуют результаты исследований многих отечественных ученых. Проблемы устройства дорожной одежды на мостах с ортотропной плитой рассматриваются в работах Телегина М.А., Кельчевского К.Д., Овчинникова И.Г. [1–3].

В соответствии с договором, заключенным между ГП «Хабаровскавтодор» (ныне КФКП «Хабаровскуправтодор») и Тихоокеанским государственным университетом, центром испытаний строительных материалов и изделий университета выполнялась научно-исследовательская работа, посвященная строительству автодорожной одежды на верхнем ярусе неразрезных пролётов совмещенного автомобильно-железнодорожного Амурского моста около г. Хабаровска [4]. Новизна исследований заключалась в уникальности мостового сооружения и климатических особенностях региона.

Роль основания дорожного покрытия металлической части моста выполнял стальной лист ортотропной плиты, который находился под воздействием автомобильной нагрузки, распределенной с учетом толщины покрытия. Автомобильная нагрузка через ортотропную плиту (марка стали — 15ХСНД) передавалась на элементы ферм пролётных строений [5].

- металлического листа толщиной 12 мм, объединенного продольными и поперечными стыковыми сварными соединениями; головок болтов-заглушек (384 шт. на пролет), выступающих на 10–12 мм из монтажных отверстий в плите.

Плита с ортотропными свойствами конструктивно состояла из следующих элементов:

- ребер 14x180 мм в сечении, расположенных с шагом 350 мм, и продольно подкрепляющих металлический лист;
- балок 10x790 и 10x240 мм таврового сечения, расположенных с шагом 2480 мм в поперечном направлении, под продольными ребрами [6; 7].

Строительство дорожной одежды Амурского моста велось в специфических погодно-климатических условиях:

- место, где построен мост, находится в первом поясе муссонного климата, с преобладающими осадками в летние месяцы июля и августа;
- температура наружного воздуха составляет: абсолютная по максимуму в июле +40 °С; абсолютная по минимуму в январе — минус 43 °С; температура самой холодной пятидневки с вероятностью 0,98 — минус 34 °С; самых холодных суток с вероятностью 0,98 — минус 37 °С;
- предельная радиация от солнца (в июле) при безоблачном небе для поверхности, расположенной горизонтально: рассеянная — 1504, прямая — 6356 Вт/м² в сутки;
- среднемесячная относительная влажность воздуха: самого жаркого месяца — 67 %, самого холодного месяца — 71 %.

Для места расположения моста определена средняя агрессивность атмосферного воздуха и газов на уровне группы «А» по агрессивности.

Учитывая сложные условия эксплуатации автодорожного мостового перехода у г. Хабаровска, важное значение имеет подготовка поверхности ортотропной плиты перед устройством защитно-сцепляющего слоя. Это оказывает непосредственное влияние на надёжность защиты поверхности плиты от коррозии и долговечность дорожной конструкции в целом, что, в свою очередь, достигается посредством прочного контактного сцепления защитно-сцепляющего слоя с поверхностью металлической плиты [8; 9].

Задачей проводимых исследований являлась разработка оптимальных технологических параметров подготовки основания для

устройства дорожного покрытия на стальных неразрезных пролётах ортотропной плиты автодорожного моста.

Результаты исследований

Research results

В соответствии с протоколом технического совещания в Федеральной дорожной службе России от 25.02.1999 года, после абразивной очистки металла, качество очистки поверхности ортотропной плиты должно соответствовать требованиям ГОСТ 9.301, ГОСТ 2789 и отвечать чистоте Sa 2,5 по стандарту DIN 55928-4, что составляет не более 40 мкм по ГОСТ 2789.

Работы по подготовке поверхности ортотропной плиты осуществлялись Комсомольским и Хабаровским мостоотрядами, с учетом рекомендаций нормативно-технических требований и отраслевых рекомендаций [10].

Основные технологические операции, перечисленные ниже, входят в процесс подготовки металлической плиты:

- устранение с металлической поверхности плиты дефектов и загрязнений (физическая обработка);
- струйно-абразивная очистка от окалины, грунтовочной краски и ржавчины (механическая обработка).

Удаление грязи с поверхности плиты производилось скребками и щетками. Пыль продували воздухом от компрессора. Масляные разливы устраняли посредством промывки растворами щелочей, с последующей мойкой водой под давлением, используя протирочный материал и волосяные щетки. Просушка обработанной поверхности плиты осуществлялась естественным путем.

Механическое удаление окалины, грунтовочной краски и ржавчины с поверхности ортотропной плиты осуществлялось способом струйно-абразивной очистки с применением пескоструйных аппаратов.

Сжатый воздух от компрессора подавался к пескоструйным аппаратам через шланги типа Г, диаметром 18 мм по внутреннему сечению; песчано-воздушную смесь к распылителю подавали шлангами типа Ш, диаметром 32 мм (размерные параметры шлангов определялись в соответствии с общими требованиями ГОСТ 18698).

На пескоструйных аппаратах использовались металлокерамические сопла с размером 10 мм по выходному отверстию. Во время обработки

поверхности плиты сопла размещались под углом 75–80° на расстоянии 75–150 мм, исходя из толщины слоя ржавчины и окалины.

Загрузку пескоструйного аппарата выполняли речным кварцевым песком с предварительной просушкой. Место хранения песка было тщательно изолировано от попадания влаги.

Как показали исследования, зерна песка при ударе о металлическую поверхность плиты не подвергались деструкции, что свидетельствует о его высоких абразивных свойствах.

По крупности зерен используемый для абразивной очистки плиты песок соответствовал требованиям стандарта ГОСТ 8736 и имел следующие характеристики. Полный остаток на сите 0,63 составлял 36,74 % (требования для группы песка средней крупности 30–45 %); содержание зёрен крупностью менее 0,16 мм — 3,16 % (требования для среднего песка I класса — не более 5 %); содержание зёрен крупностью свыше 5 мм — 0,04 % (требования для среднего песка I класса — не более 5 %); зёрна крупностью свыше 10 мм полностью отсутствовали (требования для среднего песка I класса — не более 0,5 %). Модуль крупности песка — 2,32.

Глинистые примеси в песке, определяемые методом набухания по ГОСТ 8736, по результатам контроля в процессе производства работ отсутствовали.

Для исключения выпадения конденсата атмосферной влаги на поверхности ортотропной плиты во время работы пескоструйного аппарата, которое может привести к ухудшению качества подготовки поверхности плиты, производился постоянный контроль параметров окружающей среды [11–14].

Согласно записям в журнале наблюдений, выполнение работ по механической очистке плиты струйно-абразивным способом осуществлялось при относительной влажности атмосферного воздуха от 45 до 98 %, в диапазоне положительных температур от +6 до +34 °С. Для определения температуры точки росы на поверхности ортотропной плиты применяли психрометр и справочную таблицу образования точки росы.

Результаты определения температуры поверхности плиты пролетных строений, при которой возможно появление конденсата в период производства работ, представлены в таблице 1.

Анализируя результаты определений точки росы при различных конкретных значениях температуры и относительной влажности атмосферного воздуха в условиях производства работ на тех или иных пролетах моста (табл. 1) можно сделать вывод, что выпадение конденсационной влаги на поверхности металлической плиты

практически отсутствовало на протяжении всего периода производства работ.

Таблица 1 / Table 1

Контроль образования точки росы на металлической поверхности плиты
Monitoring the dewpoint temperature formation on the metal slab surface

Пролёты моста. Участок контроля Bridge spans. Control area	Температура воздуха, °С Air temperature, °C	Влажность воздуха, % Air humidity, %	Температура образования точки росы, °С Dewpoint temperature formation, °C
п/с 17-18-19, п. 11-12	+17	45	+5
п/с 17-18-19, п. 11-12	+11	65	+4,68
п/с 25-24-23, п. 3-4; п/с 17-18-19, п. 12-13...20-21	+18	55	+8,83
п/с 17-18-19, п. 21-22	+6	63	- 0,86
п/с 25-24-23, п. 4-5	+15	63	+8,06
п/с 17-16-15, п. 0-1...7-8	+15	60	+7,36
п/с 17-16-15; п. 7-8...11-12; п. 24-23 ... 23-22; п. 21-20 ... 19-18	+17	63	+9,91
п/с 17-18-19, п. 2-3...11-12	+15	95	+14,42
п/с 15-16-17, п. 21-22; п. 12-13...16-17	+15	75	+10,70
п/с 19-20-21, п. 19-20...6-5, низ. сторона (bottom. side); п/с 11-12-13, п. 0-1...11-12, верх. сторона (top. side); п/с 15-14-13, п. 3-4...11-12, низ. сторона (bottom. side)	+22	61	+14,15
п/с 17-18-19, п. 0-1...2-3, верх. сторона (top. side); п/с 21-20-19, п. 0-1...5-6, низ. сторона (bottom. side); п/с 23-22-21, п. 0-1...20-21; п/с 11-12-13, п. 12-13, верх. сторона (top. side); п/с 9-10-11, п. 0-1...3-4, верх. сторона (top. side)	+6	98	+5,92
п/с 25-24-23, п. 9-10...21-22, низ. сторона (bottom. side); п. 1-2...6-7, верх. сторона (top. side)	+27	48	+15,04
п/с 13-14-15, п. 12-13...23-24, низ. сторона (bottom. side); п/с 7-8-9, п. 16-17...23-24, верх. сторона (top. side); п/с 11-10-9, п. 4-5...11-12, верх. Сторона (top. side) п/с 7-8-9, п. 0-1...11-12, верх. сторона (top. side); п/с 9-10-11, п. 12-13...23-24, верх. сторона (top. side); п/с 1-2/6-7, п. 0-1...19-20, верх. сторона (top. side)	+23	76	+18,57
п/с 17-16-15, п. 0-1...13-14, низ. сторона (bottom. side); п/с 17-18-19, п. 12-13...23-24, низ. сторона (bottom. side)	+28	57	+18,64

Пролёты моста. Участок контроля Bridge spans. Control area	Температура воздуха, °С Air temperature, °C	Влажность воздуха, % Air humidity, %	Температура образования точки росы, °С Dewpoint temperature formation, °C
п/с 25-24-23, п. 7-8...23-24, верх. сторона (top. side);	+25	78	+20,91
п/с 13-14-15, п. 0-1...2-3, низ. сторона (bottom. side); п/с 21-22-23, п. 21-22...23-24, верх. сторона (top. side)	+19	78	+15,08
п/с 21-22-23, п. 21-22...23-24, верх. сторона (top. side); п/с 19-20-21, п. 0-1...7-8, 19-20...23-24, верх. сторона (top. side)	+30	68	+23,85
п/с 15-14-13, п. 9-10...11-12, верх. сторона (top. side); п/с 11-12-13, п. 0-1...11-12, низ. сторона (bottom. side)	+28	80	+24,28
п/с 19-18-17, п. 0-1...11-12, низ. сторона (bottom. side); п/с 19-20-21, п. 20-21...23-24, низ. сторона (bottom. side)	+32	58	+22,72
п/с 13-14-15, п. 12-13...17-18, верх. сторона (top. side); п/с 11-12-13, п. 12-13...19-20, низ. сторона (bottom. side); п/с 9-8-7, п. 0-1...11-12, низ. сторона (bottom. side)	+30	94	+28,91
п/с 21-20-19, п. 7-8...18-19, верх. сторона (top. side)	+33	98	+32,74
п/с 15-14-13, п. 18-19...23-24, верх. сторона (top. side); (с п. 21-22 по п. 23-24 — полные (full))	+33	58	+23,67
п/с 1-2/6-7, п. 0-1...19-20, низ. сторона (bottom. side)	+34	95	+33,11
п/с 23-24-25, п. 2-3...9-10, низ. сторона (bottom. side)	+29	63	+20,99
п/с 9-10-11, п. 0-1...16-17, низ. сторона (bottom. side)	+30	63	+22,80
п/с 9-10-11, п. 12-13...23-24, низ. сторона (bottom. side)	+27	60	+18,57
п/с 25-24-23, п. 0-1...1-2, верх. сторона (top. side)	+11	95	+10,32

Разработано авторами
Developed by the authors

Как свидетельствуют данные измерения влажности воздуха и температуры во время производства работ, температура образования точки росы (температура, при которой воздух данной влажности достигает полного насыщения водяным паром) фактически не фиксировалась. Температура поверхности ортотропной плиты во время очистки была выше. Исключение составляют лишь работы по подготовке поверхности ортотропной плиты пролетных строений 25-24-23, панель 9-10; 21-22 — низовая сторона; панель 1-2, 6-7 — верховая сторона, проводимые в вечернее время суток при резко меняющихся погодных условиях, когда

температура окружающего воздуха снижалась до +6 °С, а образованию точки росы соответствовала температура +5,92 °С. Однако, как показали наблюдения, высокое расположение пролетного строения над поверхностью воды реки и, в связи с этим, интенсивные конвекционные условия воздухообмена при скорости ветра 12 м/с, предопределили исключение образования конденсата на очищенной поверхности металла.

На всех технологических этапах реализации подготовительных работ верха ортотропной плиты, в соответствии с требованиями технологического регламента и другими нормативными требованиями со стороны заказчика ГП «Хабаровскавтодор» центром испытаний строительных материалов и изделий Тихоокеанского государственного университета осуществлялся непрерывный, сплошной контроль качества производства работ. Состав исполнительной документации по механической очистке плиты струйно-абразивным способом был принят согласно рекомендациям технологического регламента производства работ с дополнениями, которые включали:

- общий журнал работ;
- журнал контроля качества подготовки ортотропной плиты для каждого пролетного строения (2х128,4 м) отдельно.

На основании результатов приемки этапов подготовленной поверхности ортотропной плиты и устройства защитно-сцепляющего слоя (далее — ЗСС) составлялся акт приемки готовой поверхности и ЗСС верха ортотропной плиты. Методы производства контроля (визуальный, инструментальный или лабораторный) в процессе выполнения работ устанавливались в каждом конкретном случае в зависимости от специфики объектов контроля. Схема пооперационного контроля качества струйно-абразивной очистки плиты была принята в соответствии с рекомендациям разработанного технологического регламента.

Критериями оценки качества работ в процессе контроля являлись:

- состояние поверхности металла плиты до струйно-абразивной очистки и после нее, которое проверялось согласно требованиям СНиП 3.06.04-91;
- чистота удаления загрязнений и жировых пятен (гидрофильные свойства поверхности) перед и после очистки металла — согласно ГОСТ 9.402;
- степень чистоты воздуха, выходящего из компрессора — согласно ГОСТ 9.010-80 (не реже двух раз в смену);
- шероховатость поверхности плиты — по ГОСТ 9.301-86; ГОСТ 2789-73, DIN 55928t4 и сравнения с эталонным образцом.

Согласно результатам пооперационного контроля очистки поверхности ортотропной плиты, на всех пролётных строениях после струйно-абразивной очистки поверхность металла плиты равномерно матовая. Брызги сварки, шлаков на сварных швах отсутствовали. Поверхность гидрофильная. Состояние воды на поверхности очищенного металла представляло собой сплошную тонкую плёнку, не собирающуюся в капли. Разрыв сплошной пленки воды происходил не позднее 17 секунд с момента нанесения. Обезжиренная поверхность соответствовала первой степени. На сухой белой салфетке, после протирания ею поверхности плиты, не оставалось тёмных пятен.

Обдув поверхности листа белой бумаги в течение одной минуты воздухом от компрессора не выявлял следов масла и влаги, контуры рисунка чернильного карандаша не расплывались, — свидетельство того, что воздух от компрессора был сухим и чистым.

Шероховатость поверхности ортотропной плиты должна быть не менее 40 мкм и соответствовать чистоте Sa 2,5 согласно стандарта DIN 55928-4.

Согласно технологии укладки ЗСС из рулонного оклеечного материала с полимерно-битумным мастичным покрытием [15], подразумевалось его устройство методом наплавления на поверхность стальной плиты с помощью газо-воздушной горелки и одновременный подогрев основания. Поэтому до начала производства работ по наклейке защитно-сцепляющего слоя, с целью определения критической температуры для разрушения антикоррозийного покрытия нижней поверхности плиты, был проведён натурный эксперимент с замером температур верхней и нижней металлических поверхностей плиты во время укладки ЗСС.

Во время эксперимента термометр ртутного типа с помощью клейкой ленты крепился снизу к поверхности металлической плиты, при этом обеспечивался как можно более плотный контакт термометра с поверхностью плиты. С помощью теплоизоляции термометр защитили от конвективного охлаждения окружающего воздуха. Используемый термометр обладал следующими техническими характеристиками: размер цены деления — 1 °С; измеряемый диапазон положительных температур — от 0 до 150 °С.

Дополнительно температура измерялась термометром М-838 электронного типа с минимальной ценой деления 1 °С.

Схема размещения точек замера температур показана на рисунке 1.

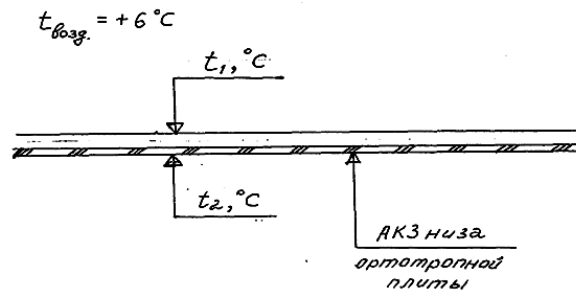


Рисунок 1. Схема размещения датчиков температуры (разработано авторами)
Figure 1. Temperature sensors layout (developed by the authors)

Зафиксированная температура воздуха во время осуществления эксперимента — плюс 6 °С, конвективные условия — ветер со скоростью 7–12 м/с. Проведение эксперимента реализовывалось в несколько этапов.

Этап первый: участок ортотропной плиты с размерами 30x30 см нагревали пламенем газо-воздушной горелкой до полного испарения конденсата. Результаты замеров времени и температуры позволили зафиксировать следующие технологические параметры: время прогрева металла составило 40–50 с; наибольшая положительная температура верха плиты достигла 103 °С, затем при выключении горелки происходило резкое снижение температуры до уровня 78–85 °С и плавное падение до 45–50 °С. Максимальная температура ортотропной плиты на нижней поверхности составила плюс 24 °С.

Этап второй: участок ортотропной плиты с размерами 100x120 см, расположенный у края проезжей части мостового перехода (рис. 2) предварительно нагревался до удаления конденсата. Затем на него наплавлялся лист ЗСС. Общее время укладки ЗСС составляло 3,5–4,0 мин.

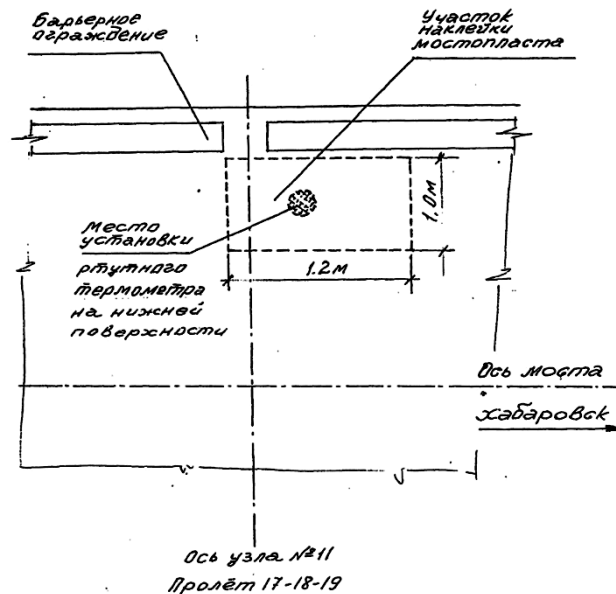


Рисунок 2. План участка ортотропной плиты с контролируемой температурой (разработано авторами)
Figure 2. Temperature-controlled orthotropic deck section plan (designed by the authors)

Проведённый эксперимент позволил зафиксировать следующие технологические параметры: предельную положительную температуру верхней поверхности плиты $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$; предельные положительные температуры металла нижней поверхности плиты, замеренные в разных точках, по показаниям ртутного термометра составили $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$; с использованием контактного термометра $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Визуальный осмотр состояния антикоррозионной защиты нижней поверхности металлической плиты в зоне наплавления ЗСС показал, что цвет покрытия остался без изменений, вздутий и отслоений нет. Это позволяет сделать вывод о том, что антикоррозионное покрытие нижней поверхности плиты не подверглось термодеструктивным изменениям под воздействием прогрева металла и сохранило все свои свойства [16].

Опираясь на результаты выполненного эксперимента, был сформулирован ряд практических замечаний.

1. Укладку наплаваемого гидроизоляционного рулонного материала на поверхности металлической ортотропной плиты следует вести при технологической температуре $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает высокое качество сцепления полимерно-битумного мастичного слоя с подготовленной поверхностью основания и одновременно — сохранность антикоррозионной защиты плиты.

2. В процессе устройства защитно-сцепляющего слоя материала не следует допускать локального перегрева металла ортотропной плиты. Контроль температуры нагрева металла плиты необходимо осуществлять ежесменно с отметкой в журнале работ.

3. Промежуток времени от момента окончания работ по механической очистке плиты струйно-абразивным способом до начала укладки ЗСС должен быть, по возможности, минимальным. На практике этот период составлял от трех до восьми часов, в зависимости от времени суток.

Заключение

Conclusion

В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по технологии, организации и контролю производства работ по подготовке поверхности металлической ортотропной плиты пролётных строений моста через реку Амур, что в дальнейшем обеспечило высокое качество укладки защитно-сцепляющего слоя покрытия и дорожной одежды в целом.

Определены оптимальные технологические параметры укладки наплавленного гидроизоляционного рулонного материала на поверхности металлической ортотропной плиты. Найдена предельная температура укладки, превышение которой приводит к деструкции антикоррозионной защиты на нижней поверхности металлической плиты от воздействия пламени газовой-воздушной горелки. На основании результатов проведенного эксперимента был сделан вывод, что максимально допустимая температура воздействия на антикоррозионную защиту нижней поверхности ортотропной плиты составляет 120 °С.

Результаты работы использованы в ходе научно-технического сопровождения по устройству ездового полотна автодорожного проезда на совмещенной части моста через р. Амур у г. Хабаровска. Разработанная система пооперационного контроля и ее реализация на каждом этапе производства работ обеспечили в дальнейшем высокую эксплуатационную надежность работы мостовой конструкции в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Телегин, М.А.** Исследование совместной работы стальной ортотропной плиты с дорожной одеждой на ней при их различных параметрах / М.А. Телегин, И.Г. Овчинников. — DOI <https://doi.org/10.15862/02TS215> // Транспортные сооружения. — 2015. — Т 2. — № 2. — С. 02TS215. — URL: <https://t-s.today/02TS215.html> (дата обращения: 21.10.2021).
2. **Овчинников, И.Г.** О проблеме устройства дорожной одежды на мостах с ортотропной плитой / И.Г. Овчинников, К.Д. Кельчевский, А.И. Ликверман [и др.] // Транспортное строительство. — 2001. — № 7. — С. 22–25. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35227184> (дата обращения: 01.11.2021).
3. **Овчинников, И.Г.** Дорожная одежда на мостовых сооружениях: отечественный и зарубежный опыт / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — № 5. — С. 37КО514. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/37KO514.pdf> (дата обращения: 01.11.2021).
4. **Иванченко, С.Н.** Нежесткая дорожная одежда на ортотропной плите Амурского моста: монография / С.Н. Иванченко, Н.И. Ярмолинская, А.А. Парфенов. — Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2009. — 245 с.
5. **Власов, В.З.** Балки, плиты и оболочки на упругом основании / В.З. Власов, Н.Н. Леонтьев. — М.: Физматгиз, 1960. — 491 с.
6. **Лившиц, Я.Д.** Автодорожные мосты (проезжая часть) / Я.Д. Лившиц, Д.Ю. Виноградский, Ю.Д. Руденко. — Киев: Будивельник, 1980. — 160 с.
7. **Хуе, У.С.** Research on construction technology for orthotropic steel deck pavement of Haihe River Chunyi Bridge / Y.C. Xue, Z.D. Qian, M. Zhang. — DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/164/1/012014> // 5th Global Conference on Materials Science and Engineering 8–11 November 2016, Tunghai University, Taiwan / Тайчжун: IOP Publishing Ltd, 2017. — С. 12014. — URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/164/1/012014> (дата обращения: 29.09.2021).
8. **Teltayev, B.B.** Temperature and moisture in highways in different climatic regions / B.B. Teltayev, G. Loprencipe, G. Bonin, E.A. Suppes, K. Tileu. — DOI <https://doi.org/10.18720/MCE.100.11> // Magazine of Civil Engineering. — 2020. — Т 100. — № 8. — С. 10011. — URL: [https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2020/8\(100\)/11.pdf](https://engstroy.spbstu.ru/userfiles/files/2020/8(100)/11.pdf) (дата обращения: 29.10.2021).

9. **Mezenov, V.** Tough call for coating: Tough environmental conditions and the stop-start nature of work have made a project in Russia challenging for coatings specialists / V. Mezenov, M. Golovnenkova // *Bridge Design & Engineering*. — 2009. — Т. 55. — № 15. — С. 64. — URL: <https://structurae.net/en/literature/journal-article/tough-call-for-coating> (дата обращения: 09.09.2021).
10. **Безгодов, А.А.** Подготовка поверхности как один из основных факторов обеспечения долговечности антикоррозионных покрытий / А.А. Безгодов, И.И. Овчинников. — DOI <https://doi.org/10.15862/23SATS220> // *Транспортные сооружения*. — 2020. — Т 7. — № 2. — С. 23SATS220. — URL: <https://t-s.today/23SATS220.html> (дата обращения: 29.10.2021).
11. **Овчинников, И.Г.** Модель воздействия внешних факторов на дорожную одежду мостовых сооружений / И.Г. Овчинников, О.К. Иванов, И.И. Овчинников, В.А. Илюшкин // *Транспортное строительство*. — 2009. — № 5. — С. 23–25. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23283846> (дата обращения: 29.10.2021).
12. **Yan, W.** Assessment of Safe Service Life of Materials Based on Corrosion Conditions / W. Yan, L. Hui, W. Juan, L. Zhongming, X. Tao. — DOI <https://doi.org/10.1007/s10553-014-0505-5> // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. — 2014. — Т 50. — № 2. — С. 179–183. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10553-014-0505-5> (дата обращения: 29.10.2021).
13. **Pouteau, B.** Study of Delamination and Cracking of Multilayered Systems Used as Waterproofing and Wearing Course Solutions for Orthotropic Steel Bridge Decks: 10 Years Feedback / B. Pouteau, K. Berrada. — DOI https://doi.org/10.1007/978-94-024-0867-6_89 // 8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements. RILEM Bookseries, vol 13 / Под ред. Chabot A., Buttler W., Dave E., Petit C., Tebaldi G. Дордрехт: Springer, 2016. — URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-024-0867-6_89 (дата обращения: 29.09.2021).
14. **Парфенов, А.А.** Исследование формирования структуры асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите моста / А.А. Парфенов, Т.Л. Лазарева. — DOI <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-02-8> // *Транспорт: наука, техника, управление*. Научный информационный сборник. — 2021. — № 2. — С. 48–53. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46133786> (дата обращения: 29.10.2021).
15. **Сахарова, И.Д.** Новые гидроизоляционные материалы для мостовых сооружений / И.Д. Сахарова, В.Ю. Казарян // *Стройпрофиль*. — 2001. — № 9. — URL: <http://stroyprofile.com/archive/183> (дата обращения: 29.10.2021).
16. **Макаров, В.Н.** Антикоррозионная защита мостовых сооружений / В.Н. Макаров, С.В. Овсянников, И.Г. Овчинников. — Саратов: Центр «Наука», 2007. — 192 с.

Сведения об авторах:

Парфенов Алексей Александрович — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия, e-mail: 000693@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8657-220X>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=834396

Лазарева Татьяна Леонидовна — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия, e-mail: 000192@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8473-9464>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1017325

Статья получена: 09.11.2021. Принята к публикации: 19.01.2022. Опубликована онлайн: 03.02.2022.

REFERENCES

1. 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; 2(2): 02TS215. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/02TS215>.
2. Ovchinnikov I.G., Kel'chevskiy K.D., Likverman A.I., Rasporoa O.N., Makarov V.N. [On the problem of pavement construction on bridges with an orthotropic plate]. *Transport construction*. 2001; (7): 22–25. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35227184> (accessed 1st November 2021). (In Russ.).

3. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Pavement on bridge structures: home and foreign experience. *Naukovedenie*. 2014; (5): 37KO514. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/37KO514.pdf> (accessed 1st November 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
4. Ivanchenko S.N., Yarmolinskaya N.I., Parfenov A.A. [Non-rigid pavement on the orthotropic slab of the Amur bridge: monograph]. Khabarovsk: Publishers PNU; 2009. (In Russ.).
5. Vlasov V.Z., Leont'yev N.N. [Beams, slabs and shells on an elastic foundation]. Moscow: Fizmatgiz; 1960. (In Russ.).
6. Livshits Ya.D., Vinogradskiy D.Yu., Rudenko Yu.D. [Road bridges (carriageway)]. Kiev: Budivel'nik; 1980. (In Russ.).
7. Xue Y.C., Qian Z.D., Zhang M. Research on construction technology for orthotropic steel deck pavement of Haihe River Chunyi Bridge. In: 5th Global Conference on Materials Science and Engineering 8–11 November 2016, Tunghai University, Taiwan. Taichung City: IOP Publishing Ltd; 2017. p. 12014. Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/164/1/012014> (accessed 29th September 2021). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/164/1/012014>.
8. Teltayev B.B., Loprencipe G., Bonin G., Suppes E.A., Tileu K. Temperature and moisture in highways in different climatic regions. *Magazine of Civil Engineering*. 2020; 100(8): 10011. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.18720/MCE.100.11>.
9. Mezenov V., Golovenkova M. Tough call for coating: Tough environmental conditions and the stop-start nature of work have made a project in Russia challenging for coatings specialists. *Bridge Design & Engineering*. 2009; 55(15): 64. Available at: <https://structurae.net/en/literature/journal-article/tough-call-for-coating> (accessed 9th September 2021). (In Eng.).
10. Bezgodov A.A., Ovchinnikov I.I. Surface preparation as one of the main factors for ensuring the durability of anti-corrosion coatings. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2020; 7(2): 23SATS220. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/23SATS220>.
11. Ovchinnikov I.G., Ivanov O.K., Ovchinnikov I.I., Ilyushkin V.A. Model of External Factors Influence on Pavements of Bridge Constructions. *Transport construction*. 2009; (5): 23–25. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23283846> (accessed 29th October 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
12. Yan W., Hui L., Juan W., Zhongming L., Tao X. Assessment of Safe Service Life of Materials Based on Corrosion Conditions. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2014; 50(2): 179–183. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s10553-014-0505-5>.
13. Pouteau B., Berrada K. Study of Delamination and Cracking of Multilayered Systems Used as Waterproofing and Wearing Course Solutions for Orthotropic Steel Bridge Decks: 10 Years Feedback. In: Chabot A., Buttler W., Dave E., Petit C., Tebaldi G. (eds). 8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements. RILEM Bookseries, vol 13. Dordrecht: Springer; 2016. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-024-0867-6_89 (accessed 29th September 2021). (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-0867-6_89.
14. Parfenov A.A., Lazarev T.L. Study of Formation of Structure of Asphalt Concrete Pavement on The Bridge Orthotropic Slab. *Transport: science, equipment, management (Scientific Information Collection)*. 2021; (2): 48–53. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-02-8>.
15. Sakharova I.D., Kazaryan V.Yu. [New waterproofing materials for bridge structures]. *Stroyprofile*. 2001; (9). Available at: <http://stroyprofile.com/archive/183> (accessed 29th October 2021). (In Russ.).
16. Makarov V.N., Ovsyannikov S.V., Ovchinnikov I.G. [Anti-corrosion protection of bridge structures]. Saratov: Center "Science"; 2007. (In Russ.).

Information about the authors:

Aleksey A. Parfenov — Pacific National University, Khabarovsk, Russia, e-mail: 000693@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8657-220X>
РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=834396

Tatyana L. Lazareva — Pacific National University, Khabarovsk, Russia, e-mail: 000192@pnu.edu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8473-9464>
РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1017325

Submitted: 9th November 2021. Revised: 19th January 2022. Published online: 3rd February 2022.