

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 699.82:624.21

Особенности применения напыляемой гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах

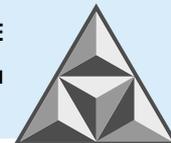
Ш.Н. Валиев¹, А.Н. Каменских², А.В. Кочетков²

Шерали Назаралиевич Валиев

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва,
Российская Федерация
vshn2014@gmail.com

Александр Николаевич Каменских, Андрей Викторович Кочетков

²Российский дорожный научно-исследовательский институт (РОСДОРНИИ), Москва, Российская Федерация,
alexandrgrtm@yandex.ru; soni.81@mail.ru

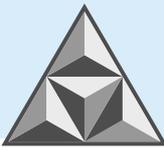


Впервые установлен механизм образования каверн (нарушения целостности) в слое гидроизоляции на склоне выступа макрошероховатости, связанный с температурой и расходом напыляемой смеси, временем остывания, а также шириной и высотой выступа макрошероховатости. Выявлено также, что точечное кавернообразование происходит на склонах участков с максимальными неровностями (наибольшей глубиной впадины относительно соседнего выступа). С учетом результатов производственного эксперимента рекомендуется увеличить температуру напыляемой смеси до 70-80 °С для обеспечения скорости полимеризации смеси до 1-2 минуты. При этом пузырек паровоздушной смеси не успевает достичь поверхности напыляемого слоя и лопнуть с образованием каверны (дефекта целостности слоя гидроизоляции мостового сооружения). Показаны перспективы массового применения напыляемой полимерной трехслойной гидроизоляции мостовых сооружений и накопление новых теоретических знаний в строительстве и ремонте мостовых сооружений.

Ключевые слова: гидроизоляция, мостовое сооружение, напыление, нагрев, каверна, нарушение целостности, пониженные температуры, пузырьки

Для цитирования:

Валиев Ш.Н., Каменских А.Н., Кочетков А.В. Особенности применения напыляемой гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, вып. 2. С. 64-76. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



SCIENTIFIC ARTICLE

Features of sprayed waterproofing application of bridges at low temperatures

S.N. Valiev¹, A.N. Kamenskikh², A.V. Kochetkov²

Sherali N. Valiev

¹Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia
vshn2014@gmail.com

Alexander N. Kamenskikh, Andrey V. Kochetkov

²Russian Road Scientific-Research Institute (ROSDORNII), Moscow, Russia
alexandrgrtm@yandex.ru; soni.81@mail.ru

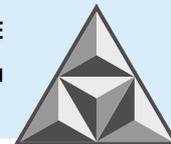


The paper concerns the mechanism of bugholes formation (breach) in the waterproofing layer on the slope of the macro-roughness protrusion associated with the temperature and flow rate of the sprayed mixture, cooling time, width, and height of the macro-roughness protrusion. The point bugholes formation occurs on the slopes of areas with maximum irregularities (the greatest depth of the depression relative to the adjacent ledge). Taking into account the results of the production experiment, the research recommends ones to increase the temperature of the sprayed mixture to 70-80 °C to ensure the polymerization rate of the mixture up to 1-2 minutes. Meanwhile, the bubble of the vapor-air mixture does not have time to reach the surface of the sprayed layer and burst with the formation of a bugholes (a defect in the integrity of the waterproofing layer of the bridge structure). The paper shows the prospects of mass application of sprayed polymer three-layer waterproofing of bridge structures and the accumulation of new theoretical knowledge in the construction and repairing of bridges.

Keywords: waterproofing, bridges, spraying, heating, bughole, breach, low temperatures, bubbles

For citation:

Valiev, Sh.N., Kamenskikh, A.N. & Kochetkov, A.V. (2023) Features of application of sprayed waterproofing of bridge structures at low temperatures, *Smart Composite in Construction*, 4(2), pp. 64-76 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/v4n2_2023



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время накоплен большой опыт использования литого асфальтобетона (а/б) и гидроизоляции в мостовых сооружениях [1-5]. Для достижения сцепления конструкции мостового полотна с пролетным строением, а также в качестве гидроизоляционной обработки применяется напыляемая нагреваемая двухкомпонентная смесь на основе изоционата и отвердителя. Материал должен обладать антикоррозионными и гидроизоляционными свойствами, повышенной эластичностью, иметь хорошую адгезию со стальной ортотропной или железобетонной плитами и дорожной одеждой [6, 7].

Одной из причин преждевременного разрушения мостовых сооружений является деструкция бетона и коррозия арматуры плиты и балок пролетных строений, а также металлических конструкций из-за неудовлетворительного состояния гидроизоляции [8]. Эффективным решением проблемы является применение напыляемой трехслойной полимерной гидроизоляции, в том числе из новых отечественных материалов.

Применение отечественных материалов при температурах ниже 10 °С ввиду длительного завершения (до 2 сут.) химической реакции между компонентами (изоционат и отвердитель), приводит к появлению дефектов в виде каверн из-за пузырьков воздуха и пара, возникающих во время химической реакции после нанесения слоя гидроизоляции.

Цель настоящей работы – получение данных по обеспечению целостности гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ И ИЗВЕСТНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

Литературные источники, касающиеся общих вопросов применительно к настоящему исследованию [1-9], и частные публикации по данной тематике ограничены перечнем [10-13].

При осуществлении патентного поиска близких аналогов определены индексы международной патентной классификации, согласно области техники исследуемой темы, которые включили:

Класс E01C – Строительство дорог, дорожных покрытий, спортивных площадок и т.п.; машины и вспомогательное оборудование для строительства и ремонта;

Класс E01D – Мосты;

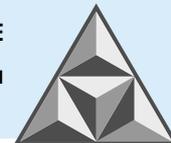
Класс E04B – Строительные конструкции в целом; стены, например, перегородки; крыши; перекрытия; потолки; изоляция или прочие средства и способы защиты строительных конструкций и сооружений;

Класс C04 – Цементы; бетон; искусственные камни; керамика; огнеупоры;

Класс C08L – Композиции высокомолекулярных соединений.

При поиске информации использованы ключевые слова: гидроизоляция (waterproofing), мост (bridge), полиуретан (polyurethane), литой асфальтобетон (cast asphalt concrete), полимерные композиции (polymer compositions), полимерное вяжущее (polymer binder).

По результатам проведенного патентного поиска отобраны следующие документы: патенты на изобретения RU №№ 2177523, 2298023, 2341479, 2341480, 2477736, 2504523, 2504565, 2516605, 2560033, 2662493; патенты на полезные модели RU №№ 21051, 69874, 81500, 84859, 117454; патенты CN №№ 209144654, 108439861, 108442250, 106739310, 101914894; патент KR № 20070001411; патент EP № 0457667; патент DE № 20205590.



Анализ указанных патентов показал, что решение технической задачи устройства гидроизоляции мостовых сооружений под горячие асфальтобетонные смеси осуществляется путем устройства слоев покрытия из литого асфальтобетона и разработки составов смесей для изготовления слоя гидроизоляции с обеспечением адгезии между ним и верхним слоем из литого асфальтобетона.

В современных двухкомпонентных установках для распыления полимочевины компоненты подаются под давлением от 150 до 200 атм., и их мгновенное смешивание происходит за счет соударения потоков. Оборудование для нанесения должно обладать возможностью точной дозировки, обеспечивать предварительный независимый нагрев компонентов для снижения их вязкости, а распылительный пистолет – иметь возможность регулировки факела.

Поставленная в настоящем исследовании задача обеспечения целостности гидроизоляции при пониженных температурах в известных технических решениях не выявлена.

Неблагоприятная ситуация складывается по причине того, что пузырьки газа, мигрируя, проникают через верхнюю поверхность слоя гидроизоляции и лопаются, образуя каверны с нарушением целостности слоя гидроизоляции. Процесс миграции пузырьков смеси газов и пара в средних и верхних слоях рабочего материала с образованием каверн представлен на рис. 1.

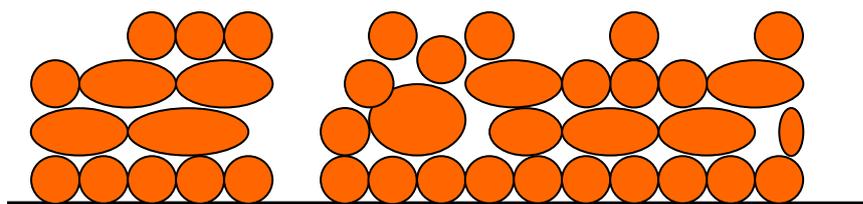


Рис. 1. Кавернообразование
Fig. 1. Bugholesformation

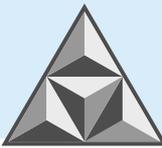
В середине находится рыхлый слой, в котором собираются пузырьки, мигрировавшие из нижнего слоя к соединившимся с пузырьками среднего слоя.



Рис. 2. Пузырькообразование в теле образца из полимера на основе изоцианата(полиуретана); видны пузырьки внутри слоя полимера

Fig. 2. Bubble formation in the body of a polymer sample based on isocyanate (polyurethane); bubbles are visible inside the polymer layer

Эти пузырьки не успевают мигрировать через твердый верхний слой (рис. 2).



РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Производственные работы по нанесению гидроизоляции на съезде с Кольцевой автомобильной дороги Санкт-Петербурга (Российская Федерация) проведены 4 мая 2023 г.

Температура окружающего воздуха 9 °С.

Время нанесения – с 10.00 до 16.00.

Результаты выполненного обследования по образованию каверн (рис. 3), осуществляемых работ по нанесению слоя гидроизоляции (рис. 4) и испытаний гидроизоляции (рис. 5, 6) представлены ниже.

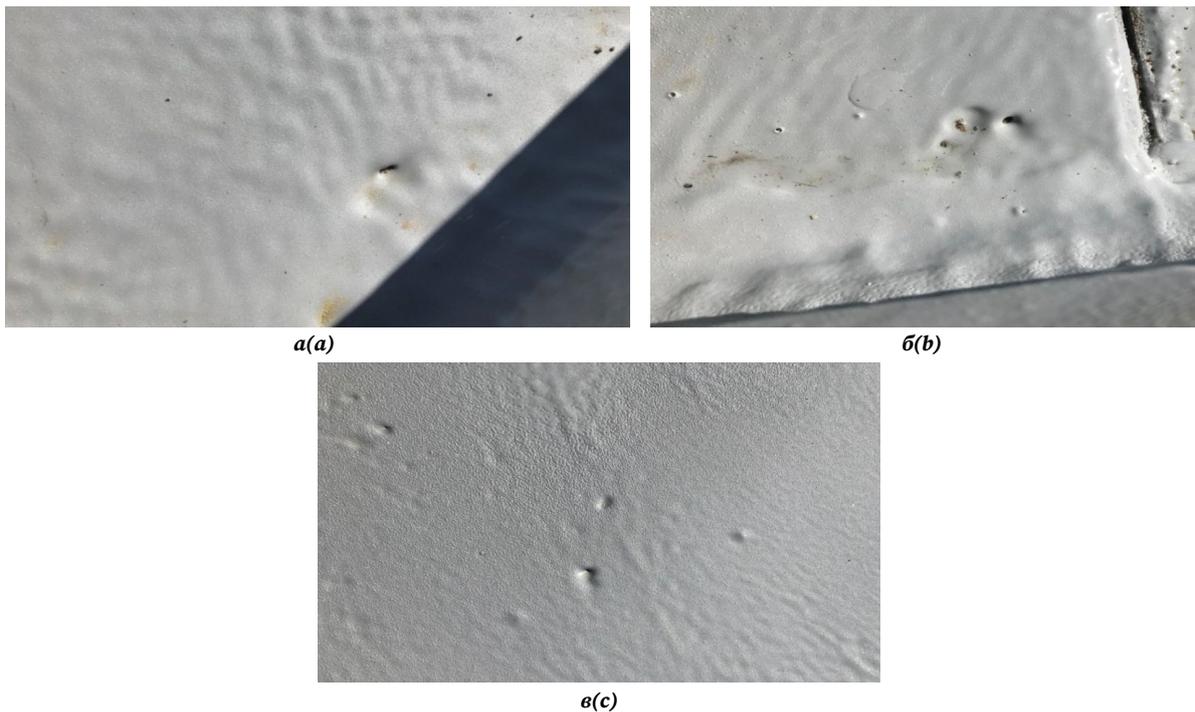


Рис. 3. Примеры (а-в) образования каверн на склоне текстуры макрошероховатости
Fig. 3. Formation (a-c) of bugholes on the slope of the macro-roughness texture



Рис. 4. Нанесение слоя гидроизоляции
Fig. 4. Applying a waterproofing layer

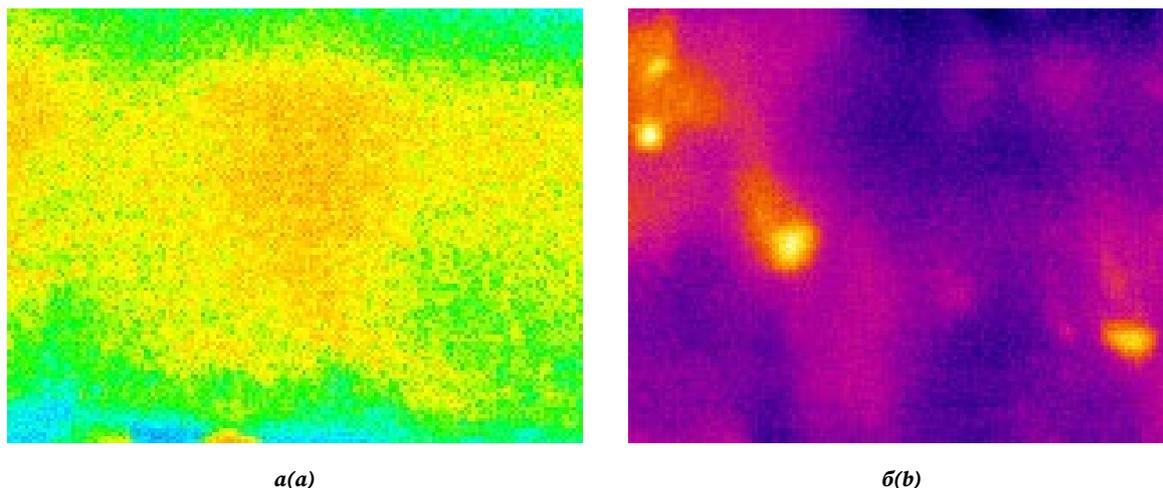
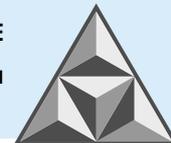


Рис. 5. Визуализация теплового поля напыленного слоя гидроизоляции:
a – первая минута, *б* – десятая минута
Fig. 5. Visualization of the thermal field of the sprayed waterproofing layer:
a – the first minute, *b* – the tenth minute

Так, на рис. 5 (изображение с тепловизора) хорошо видны неостывшие локальные точки, отвечающие состоянию (неостывшего полимера) напыленного полимера над дефектными участками сталежелезобетонной плиты.

Рекомендации по определению адгезии материалов для гидроизоляции мостовых конструкций

Разработанные рекомендации устанавливают методы определения адгезии материалов для гидроизоляции мостовых конструкций, в том числе на основе технологических проб.

Рекомендации даны к проведению испытаний материалов для гидроизоляции при изготовлении, осуществлении входного контроля качества в лабораторных условиях, инспекционного контроля качества материала на строительном объекте (непосредственно при устройстве гидроизоляции и антикоррозионной обработке мостовых конструкций).

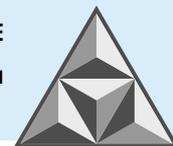
В рекомендациях фигурируют термины, представленные ниже.

Адгезия (от лат. *adhaesio* – прилипание) – сцепление (слипание) поверхностей разнородных тел. Под адгезией полимерно-битумных вяжущих для гидроизоляции сталежелезобетонных и ортотропных металлических мостовых конструкций следует понимать эффекты связей полимерных вяжущих и указанных конструкций, обусловленные механическими, клеявыми и взаимопроникающими эффектами. Она визуальна определяется величиной площади поверхности полимерных вяжущих, сохранивших частицы материала ортотропных металлических мостовых конструкций (битумную пленку) после приложения испытательных воздействий.

Технологическая проба – испытание образцов материалов, выполняемых несложными способами без тщательного измерения наблюдаемых свойств, с целью выявления способности таких образцов к определенным деформациям (сдвиг – для полимерных вяжущих, используемых в качестве гидроизоляции мостовых конструкций).

Характер разрушения испытываемого образца подразделяют на адгезионный и когезионный (по материалу для гидроизоляции), когезионный (по мостовой конструкции) и смешанный.

Адгезионный характер разрушения – разрушение испытываемого образца происходит на площади более 50% по линии контакта между материалом для гидроизоляции и мостовой конструкцией.



Когезионный характер разрушения – материал для гидроизоляции разрушается на площади более 50%.

Смешанный характер разрушения – при наличии различных характеров разрушения, ни один из которых не превышает 50% по площади.

Определение адгезии на сдвиг между материалом для гидроизоляции и мостовой конструкцией на сдвиг заключается в определении характера разрушения и усилия, необходимого для сдвига калибровочной пластины с материалом для гидроизоляции относительно плиты (вручную, моментным ключом).

Испытания проводят на сухой, тщательно очищенной плите непосредственно на месте нанесения слоя гидроизоляции. Места измерений назначают на расстоянии 0.5 м друг от друга. Температура и влажность покрытия и воздуха должны соответствовать техническим условиям изготовителя на материалы для гидроизоляции. Проба полимера заливается в два отверстия калибровочной пластины диаметром 20.0 мм таким образом, чтобы полимер выступал в стороны за края отверстий не менее чем на 2.0 мм.

После отверждения компонентов гидроизоляции проводят отделение пластин от плиты сдвигом с помощью тросовой системы и калибровочной пластины для испытания адгезии, которая включает в себя пластину, гайку и рым-болт. Характер разрушения определяют визуально и, если таковой является адгезионным, вычисляют показатель адгезии на сдвиг.

Показатель адгезии вычисляют как среднее арифметическое из результатов не менее трех испытаний, расхождение между максимальным и минимальным значениями не должно превышать 10%.

Решение о пригодности материала для гидроизоляции принимается по характеру разрушения и сравнением фактической величины адгезии сдвига с требуемой по действующим нормативным документам.

Проведение практического исследования адгезии гидроизоляции представлено на рис. 6.



Рис. 6. Испытание гидроизоляции на адгезию (когезионный характер отрыва)

Fig. 6. Waterproofing adhesion tests (cohesive nature of separation)

Проведено определение физико-механических характеристик полученного гидроизоляционного эластомерного материала «Гидрофлекс-1» на соответствие СТО 80576145-001-2017 «Гидроизоляция железобетонных и стальных ортотропных плит пролетных строений мостовых сооружений и других строительных конструкций из стали и железобетона. Технология устройства» и ОДМ 218.3.045-2015 «Рекомендации по устройству бесшовной и напыляемой мостовой гидроизоляции из композиционных материалов на



железобетонных и стальных ортотропных плитах пролетных строений мостовых сооружений, а также на других строительных конструкциях из стали и железобетона».

При этом «Гидрофлекс-1» является двухкомпонентным продуктом, состоящим из форполимера на основе изоцианата (компонент А) и отвердителя полиаминного типа (компонент Б). Для окраски композиции в компонент Б вводят пигменты.

Система гидроизоляции металлических и железобетонных конструкций состоит из трех слоев:

– грунт – композиция эпоксидная марки ЭГ-101; ТУ 2257-155-98644048-2009; толщина слоя составляет 450-500 мкм;

– основной слой – материал эластомерный гидроизоляционный на основе полимочевины; ТУ 5775-007-98644048-2013; толщина слоя составляет 1.2-1.8 мм;

– верхний слой композиции марки ПА-105; ТУ 2257-156-98644048-2009; толщина слоя составляет 500-550 мкм.

Расход материалов на базе гидроизоляции «Гидрофлекс-1», используемой при строительстве и эксплуатации мостовых сооружений, представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Расход материалов на основе гидроизоляции «Гидрофлекс-1»

Table 1. Materials consumption on the basis of waterproofing "Hydroflex-1"

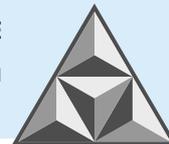
Наименование	Теоретический расход, кг·м ⁻²	Практический расход, кг·м ⁻²	Разница (заполненный объем макрошероховатости)
Грунт-композиция ЭГ-101	0.48	0.54 (потери 10% при К=1.12)	0.06
Гидрофлекс-1	1.59	2.28 (потери 30% при К=1.43)	0.69
Композиция ПА-105	0.44	0.51 (потери 10% при К=1.12)	0.07

Результаты испытаний «Гидрофлекс-1» отражены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний гидроизоляционного эластомерного материала

Table 2. Test results of waterproofing elastomeric material

Название	Требования ГОСТ 59179-2021		Гидрофлекс-1	
Химическая основа			Поликарбамид (полимочевина)	
Плотность, г·см ⁻³			От 1.04 до 1.06	
Время полимеризации, мин			От 0.5 до 2.0	
Система			1. ЭГ-101 2. ГИ Мембрана 3. ПА-105	
Срок службы			Более 47 лет	
Основание				
Функциональные показатели полимерной гидроизоляции (ГИ)	Бетон	Сталь	Бетон	Сталь
Прочность сцепления ГИ слоя с плитой основания при отрыве, МПа, не менее, при температуре 23 °С	1.00	3.00	3.20	9.80
Прочность сцепления ГИ слоя с уплотняемым а/б при отрыве, МПа, не менее, при температуре 23 °С	0.40	0.40	0.45	0.45
Прочность сцепления ГИ слоя с литым а/б при отрыве, МПа, не менее, при температуре 23 °С	0.40	0.40	0.45	0.45
Прочность сцепления ГИ слоя с уплотняемым а/б при сдвиге, МПа, не менее, при температуре 23 °С	0.15	0.15	0.30	0.30



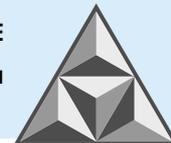
Окончание таблицы 2

Table 2 (ending)

Название	Требования ГОСТ 59179-2021		Гидрофлекс-1	
Прочность сцепления ГИ слоя с литым а/б при сдвиге, МПа, не менее, при температуре 23 °С	0.15	0.15	0.30	0.30
Водонепроницаемость	Не нарушена		Не нарушена	Не нарушена
Водопоглощение по массе, %, не более	2.5	2.5	2.0	2.0
Прочность при растяжении ГИ слоя, МПа, не менее, при температуре 23 °С	5.0	5.9	19.0	19.0
Относительное удлинение ГИ слоя при разрыве, %, не менее, при температуре 23 °С	40	40	200-400	200-400
Сопротивление ГИ слоя проникновению хлорид-ионов по массе, %, не более	0.04	-	В пределах погрешности измерения	В пределах погрешности измерения
Антикоррозионная стойкость в условиях атмосферы нейтрального соляного тумана	-		В пределах погрешности измерения	В пределах погрешности измерения
Внешний вид	-	Отсутствие вздутий, ржавчины и трещин		Отсутствие вздутий, ржавчины и трещин
Диэлектрическая сплошность	-	Отсутствие пробоев		Отсутствие пробоев
Минимальная толщина гидроизоляционного слоя (с учетом допусков по ГОСТР 58942-2020), мм	2	2	2	2
Относительное удлинение слоя при разрыве после воздействия температуры 140°С, %, не менее, при температуре 50 °С	40	40	200-400	200-400
Относительное удлинение ГИ слоя при разрыве после воздействия температуры 170 °С, %, не менее, при температуре 50 °С	40	40	200-400	200-400

Согласно полученным данным, гидроизоляционный эластомерный материал соответствует требованиям ОДМ 218.3.045-2015 и СТО 80576145-001-2017. По заключению АО ЦНИИС № НМГАЗ-19-9286, предлагается следующая система ООО «НПФ «Современные покрытия»: композиция эпоксидная ЭГ-101 – 150-250 мкм; «Гидрофлекс-1/1» (ТУ 5775-007-98644048-2013); толщина – 1.2-1.8 мм. Таковая успешно прошла климатические испытания для условий эксплуатации 02 по методу 18 ГОСТ 9.401, предусматривающих длительное и циклическое воздействие отрицательных температур (от -60 °С). Прогнозируемый срок службы покрытия составил не менее 47 лет.

С учетом результатов производственного эксперимента, рекомендуется повысить температуру напыляемой смеси до 70-80 °С для обеспечения полимеризации смеси в течение 1-2 мин. В этих условиях пузырьку паровоздушной смеси не удастся достичь поверхности напыляемого слоя и лопнуть с образованием каверны (дефекта целостности слоя гидроизоляции мостового сооружения), как это описано в [8, 9].



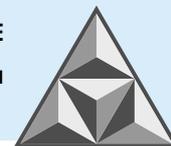
ВЫВОДЫ

В известных технических решениях не заявлена задача обеспечения целостности гидроизоляции при пониженных температурах. В этой связи впервые установлен механизм образования каверн (нарушения целостности) в слое гидроизоляции на склоне выступа макрошероховатости, связанный с температурой и расходом напыляемой смеси, временем остывания, а также шириной и высотой выступа макрошероховатости. Выявлено, что точечное кавернообразование происходит на склонах участков с максимальными неровностями (наибольшей глубиной впадины относительно соседнего выступа).

Применение напыляемой полимерной трехслойной гидроизоляции при строительстве и ремонте мостовых сооружений позволит повысить срок их службы и снизить аварийность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Овчинников И.Г., Макаров В.Н., Ефанов А.В.** Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов. Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2004.
2. **Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Жаденова С.В.** Систематизация и сравнительный анализ различных типов гидроизоляции, применяемых на автодорожных мостовых сооружениях // *Интернет-журнал «Наукоедение»*. 2013. № 5. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/56TBH513.pdf>
3. **Борисов Н.А.** Гидроизоляция строительных объектов методом холодного бесшовного напыления жидкой резиной // *Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции 13 августа 2017 г.* Чебоксары: Изд-во: ООО "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс". 2017. С. 220-227. URL: www.interactive-plus.ru
4. **Янковский Л.В., Кочетков А.В., Кокодеева Н.Е.** Техническое нормирование макрошероховатости дорожных покрытий автомобильных и лесовозных дорог / под общ. ред. Л.В. Янковского. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. 321 с.
5. **Zadiraka A.A., Kokodeeva N.Ye., Kochetkov A.V.** Physical and mechanical properties of polyurethane crushed stone for slopes of embankments and excavations of roads and railways // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018. № 4(40). С. 50-60.
6. **Дубиняк А.Н., Овчинников И.И.** Гидроизоляционные материалы для защиты конструкций транспортных сооружений // *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*, 2020. Т. 7, № 2. С. 18. URL: <https://t-s.today/PDF/21SATS220.pdf>
7. **Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Телегин М.А., Хохлов С.В.** Эффективные конструкции дорожных одежд с применением асфальтобетона на мостовых сооружениях // *Интернет-журнал "Наукоедение"*. 2014. № 1(20). С. 76. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN114.pdf>
8. **Каменских А.Н.** Секрет долговечности. Практические работы по видеоидентификации теплового поля напыляемого горячего слоя гидроизоляции с помощью тепловизора // *Автомобильные дороги*. 2023. № 3. С. 40-43.
9. **Валиев Ш.Н., Каменских А.Н., Петрович И.Г., Журавлев П.А.** Устройство напыляемой полимерной гидроизоляции мостовых сооружений на основе теплофизического моделирования и нормирования макрошероховатости / под науч. ред. проф. А.В.Кочеткова. М.: ООО «Строинформиздат», 2023. 187 с.
10. **Pratap Singh Rautela.** Waterproofing of Bridge Decks The Latest Technique and Material // *National research council. NBM & CW*, January 2008.
11. **John Erik Haga.** Bridge Decks Waterproofing and Wearing Course // *Norwegian Public Roads Administration*, January 1997.
12. **Eestindanud Aleksander Kaldas.** Sillatekkide asfaltkatendid (Asphalt pavements on bridge decks) // *EAPA arvamusraport*, Detsember 2013.



13. **Karl Gunnar Holter.** Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels // «SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Regio» ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly, May 22–28. 2015

Поступила в редакцию 23.05.2023

Одобрена после рецензирования 19.06.2023

Принята к опубликованию 22.06.2023

REFERENCES

1. **Ovchinnikov, I.G., Makarov, V.N. & Efanov, A.V.** (2004) *Bridge bed of road bridges using cast asphalt concrete and modern expansion joints*. Saratov: Izd-vo Sarat. gos. tekhn. un-ta (in Russian).
2. **Ovchinnikov, I.I., Ovchinnikov, I.G., Valiev, Sh.N. & Zhadenova, S.V.** (2013) Systematization and comparative analysis of various types of waterproofing used on road bridge structures, *Internet-zhurnal «Naukovedeniye»*, (5) [online]. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/56tvn513> (in Russian).
3. **Borisov N.A.** (2017) Waterproofing of construction objects by cold seamless spraying with liquid rubber, *Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 13 avgusta 2017 g.* Cheboksary: Izdatelstvo: OOO "Tsentr nauchnogo sotrudnichestva "Interaktiv plyus". pp. 220-227 [online]. Available at: www.interactive-plus.ru (in Russian).
4. **Yankovsky, L.V., Kochetkov, A.V. & Kokodeeva, N.E.** (2019) *Technical normalization of macro-roughness of road surfaces of automobile and logging roads / under the general ed. of L.V. Yankovsky*. Perm: Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn. un-ta (in Russian).
5. **Zadiraka, A.A., Kokodeeva, N.Ye. & Kochetkov, A.V.** (2018) Physical and mechanical properties of polyurethane crushed stone for slopes of embankments and excavations of roads and railways, *Russian Journal of Building Construction and Architecture*, 4(40), pp. 50-60.
6. **Dubinyak A.N. & Ovchinnikov I.I.** (2020) Waterproofing materials for the protection of transport structures, *Internet-zhurnal «Transportnyye sooruzheniya»*, 7(2), pp. 18 [online]. Available at: <https://t-s.today/PDF/21SATS220.pdf> (in Russian).
7. **Ovchinnikov, I.G., Ovchinnikov, I.I., Telegin, M.A. & Khokhlov, S.V.** (2014) Effective constructions of road clothes using asphalt concrete on bridge structures, *Internet-zhurnal "Naukovedeniye"*, 1(20), pp.76 (in Russian).
8. **Kamenskikh, A.N.** (2023) The secret of durability. Practical work on video identification of the thermal field of the sprayed hot waterproofing layer using a thermal imager, *Avtomobilnyye dorogi*, (3), pp. 40-43 (in Russian).
9. **Valiev, Sh.N., Kamenskikh, A.N., Petrovich, I.G. & Zhuravlev P.A.** (2023) *Device of sprayed polymer waterproofing of bridge structures based on thermophysical modeling and normalization of macro-roughness / under the scientific editorship of prof. A.V. Kochetkov*. M.: OOO «Stroinformizdat» (in Russian).
10. **Pratap, Singh Rautela.** (2008) Waterproofing of Bridge Decks The Latest Technique and Material, *National research council. NBM & CW*, January.
11. **Erik Haga, John.** (1997) *Bridge Decks Waterproofing and Wearing Course*, Norwegian Public Roads Administration, January.
12. **Eestindanud, Aleksander Kaldas.** (2013) Sillatekkide asfaltkatendid (Asphalt pavements on bridge decks), *EAPA arvamusraport*, Detsember.
13. **Karl Gunnar Holter.** (2015) Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels, «SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Regio» ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly, May 22–28.

Received 23.05.2023

Approved after reviewing 19.06.2023

Accepted 22.06.2023