

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

2023, Том 10, № 3 / 2023, Vol. 10, Iss. 3 <https://t-s.today/issue-3-2023.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS323.pdf>

DOI: 10.15862/10SATS323 (<https://doi.org/10.15862/10SATS323>)

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Технико-экономическое обоснование выбора гидроизоляции мостовых сооружений под литой горячий асфальтобетон

¹Кочетков А.В., ²Каменских А.Н., ³Валиев Ш.Н.,
¹Янковский Л.В., ⁴Белозеров М.И., ⁵Белозеров Я.М.

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

²ФКУ «Центравтомагистраль», Москва, Россия

³ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Россия

⁴АО «Союздорпроект», Москва, Россия

⁵ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку: Кочетков Андрей Викторович, e-mail: soni.81@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ существующего технического уровня определения требований к материалам полимерным для устройства гидроизоляции плиты проезжей части мостового сооружения. В настоящее время в транспортном строительстве находят массовое применение новые долговечные напыляемые материалы на основе изоционата: полимочевина, полиуретаны, поликарбонаты. Слой гидроизоляции наносят на грунтовочный слой методом горячего напыления, используя специальное оборудование, с образованием прочного, эластичного, бесшовного, водонепроницаемого покрытия, который при нанесении воспроизводит форму геометрии изолируемой поверхности.

Для обеспечения срока службы разработаны рекомендации по совершенствованию технологии устройства напыляемой полимерной гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах.

Представлено технологическое решение, обеспечивающее направленное теплофизическое регулирование устройства напыляемой полимерной гидроизоляции

плиты проезжей части мостовых сооружений на основе изоционатов при пониженных температурах на основе предупреждения возникновения и устранения точечных дефектов (каверн). Проведен технико-экономический расчет, подтверждающий эффективность применения технологии напыляемой гидроизоляции в сравнении с традиционно применяемыми рулонными материалами. Из-за применения новой технологии обеспечивается снижение количества текущих ремонтов с 24 до восьми для диапазона 49 лет. Путем расчета по разработанной автором программе установлен дисконтированный срок окупаемости для технологии напыляемой полимерной гидроизоляции — начало 17-го года.

Ключевые слова: мостовые сооружения; срок службы; гидроизоляция; технико-экономическое обоснование; напыление; рулонная; наклеенная; точка безубыточности

Technical and economic assessment for choosing of bridge structures waterproofing under cast hot asphalt concrete

¹Andrey V. Kochetkov, ²Alexander N. Kamenskikh, ³Sherali N. Valiev,
¹Leonid V. Yankovsky, ⁴Mikhail I. Belozarov, ⁵Yaroslav M. Belozarov

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

²Centravtomagistral, Moscow, Russia

³Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow, Russia

⁴Soyuzdorproekt, Moscow, Russia

⁵Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia

Corresponding author: Andrey V. Kochetkov, e-mail: soni.81@mail.ru

Abstract. The existing technical level analysis of the polymeric materials requirements determination for waterproofing of the bridge structure carriageway slab is carried out. Nowadays new durable sprayed materials based on isocyanate: polyurea, polyurethanes, polycarbonates find mass application in transport construction. The waterproofing layer is applied on the priming layer by hot spraying method using special equipment, with the formation of a strong, elastic, seamless, waterproof coating, which when applied reproduces the shape of the geometry of the insulated surface.

To ensure the service life, recommendations for improving the bridge structures sprayed polymer waterproofing technology at low temperatures are developed.

The technological solution providing the directed thermophysical regulation of bridge structures roadway

slab sprayed polymer waterproofing based on the isocyanates at low temperatures on the basis of prevention and elimination defects (caverns) point is presented. The technical and economic calculation confirming the sprayed waterproofing technology application efficiency in comparison with traditionally used roll materials have been carried out. Due to the new technology application, the number of current repairs is reduced from 24 to eight for a range of 49 years. By calculation means using the programme developed by the author, the discounted payback period for the sprayed polymer waterproofing technology was established at the beginning of the 17th year.

Keywords: bridge structures; service life; waterproofing; technical and economic assessment; spraying; roll-on; stick-on; break-even point

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

Натурные наблюдения за состоянием мостовых сооружений показали, что их долговечность во многом зависит от состояния гидроизоляции, а также от качества и рецептуры используемых гидроизоляционных материалов — их функциональных и эксплуатационных характеристик, от качества соблюдения технологических регламентов при устройстве гидроизоляции, от качества содержания мостовых сооружений с устроенной гидроизоляцией [1; 2].

Статья является частью диссертационного исследования Каменских А.Н. (научный руководитель Валиев Ш.Н., консультирование Кочетков А.В.). Компьютерная программа расчета дисконтированного срока окупаемости разработана Л.В. Янковским и Белозеровым Я.М., тестирование и отладка — М.И. Белозеровым, составление сметы и алгоритма — А.Н. Каменских).

Технический уровень отечественной промышленности гидроизоляционных материалов не может предложить качественных долговечных материалов с необходимыми физико-механическими характеристиками. Указанные документы практически не содержат количественных характеристик свойств гидроизоляционных материалов, а те, которые сформулированы, до последнего времени не могли быть достигнуты [3–7].

Публикации авторов по теме исследования приведены в перечне [6–10], зарубежные публикации — в перечне [11–15].

Статья является частью диссертационного исследования А.Н. Каменских (научный руководитель Ш.Н. Валиев).

На практике часто (до 80 % случаев) при строительстве и ремонте мостовых сооружений применяют наплавляемую рулонную гидроизоляцию. Главным ее недостатком является «непроклейка» порядка 20–40 % от объема выполненных работ и это особенно проявляется в виде нарушения герметичности гидроизоляции в местах сопряжения наплавляемых рулонов (рис. 1).

При устройстве гидроизоляции рулонными материалами применяются газовые горелки (температура пламени более 1 000°C, рисунок 1 а). В результате входящий в состав рулонной гидроизоляции полимер выгорает, что ведет к ее значительному ухудшению эксплуатационных свойств и снижению срока службы [7].



а



б



в

Рисунок 1. Накопление повреждений ездового полотна
(б) мостового сооружения с примененной (а) рулонной наплавляемой
гидроизоляцией (фото ФКУ УПРДОР «Нижне-Волжское»)

Figure 1. Accumulation of damage to the bridge structure floor (b) with applied
(a) roll torch-welded waterproofing (photo by Federal Government Agency Federal
Highway Transportation Management «Nizhne-Volzhskoye»)

Проблемой является то, что основой рулонных наплавливаемых материалов является вяжущее с высокой температурой хрупкости (-15°C), а этого недостаточно для отечественных климатических условий. При устройстве гидроизоляции рулонными материалами применяется технология «расплава» вяжущего материала непосредственным воздействием открытого огня.

Например, при строительстве мостового перехода через реку Волга у села Пристанное Саратовской области в качестве верхнего слоя покрытия на мостах был применен литой асфальт на модифицированном битуме, стоимость которого по сравнению с горячим асфальтобетоном была дороже в 1,3 раза. Но срок службы покрытия из обычного горячего асфальтобетона составляет 5 лет, а покрытие из литого асфальта на модифицированном битуме уже составил более 20 лет.

Но уже те данные, которые мы имеем на сегодняшний день, покрытие из обычного горячего асфальтобетона по состоянию на сегодняшний день пришлось заменять четыре раза. Стоит сравнить, что экономически более выгодно, а как сложно проводить работы по замене покрытия на мосту, какие сложности для автомобилистов, какие очереди из автомашин на подходах к мосту и как страдает экономика от такой ситуации.

«Техноэластмост» — это битумно-полимерный наплавливаемый материал на основе полиэстера производства компании ТехноНИКОЛЬ, предназначенный для гидроизоляции мостовых сооружений, транспортных развязок и т. д. Существует две модификации — «Техноэластмост» Б (толщина 5 мм) и С (толщина — 5,2 мм).

При ремонте мостов обнаруживалось, что гидроизоляция на мостах практически отсутствовала, имелись только ее отдельные фрагменты. При рассмотрении технических характеристик рулонной гидроизоляции «Техноэластмост» тип Б выявлены недостатки: использование пропановой горелки; необходимость выравнивания поверхности перед устройством гидроизоляции; наличие стыков; необходимость устройства защитного слоя; большие затраты физического труда.

Постановка задачи

Research objective

Поставлена задача проведения сравнительного технико-экономического обоснования выбора гидроизоляции мостовых сооружений под литой горячий асфальтобетон с разработкой компьютерной программы расчета дисконтированного срока.

Проведен анализ существующего технического уровня определения требований к материалам полимерным для устройства гидроизоляции плиты проезжей части мостового сооружения. В настоящее время в транспортном строительстве находят массовое применение новые долговечные напыляемые материалы на основе изоционата: полимочевина, полиуретаны, поликарбонаты. Слой гидроизоляции наносят на грунтовочный слой методом горячего напыления, используя специальное оборудование, с образованием прочного, эластичного, бесшовного, водонепроницаемого покрытия, который при нанесении воспроизводит форму геометрии изолируемой поверхности.

Анализ патентной ситуации исследуемой темы показал, что решение технической задачи устройства гидроизоляции мостовых сооружений под горячие асфальтобетонные смеси в известных запатентованных решениях осуществляется путем устройства слоев покрытия слой из полимербитумного литого асфальтобетона и путем разработки составов смесей для изготовления слоя гидроизоляции с обеспечением адгезии между ним и верхним слоем из литого асфальтобетона.

На рубеже 2000–2010 годов в отечественном мостостроении соревновались рулонная и мастичная гидроизоляции ездового полотна. Распространенной практикой были рулонная гидроизоляция «Техноэластмост-С» и мастичная гидроизоляция по технологии финской фирмы «Лемминкяйнен», отработанная в ЗАО «Автогрейд» (г. Энгельс) на внеклассных автодорожных мостах Поволжского федерального округа под горячие верхние слои из литого асфальтобетона и ЦМА. Между тем под горячие верхние слои с повышенной температурой до 220°C и выше данные материалы не были предназначены.

Техническим решением этой проблемы высоких температур стали полимерные напыляемые теплостойкие материалы для гидроизоляции мостовых сооружений на основе сложных полимеров в виде эпоксидных смол, полиуретанов и полимочевины. Применение полимерных двухкомпонентных материалов, наносимых под высоким давлением безвоздушным способом тормозилось проблемой отсутствия адгезионной способности данных материалов к устраиваемым на полимерной гидроизоляции горячим асфальтобетонным слоям.

Новым техническим решением оказались авторская разработка ООО «Конверра-Юг» и ООО НПФ «Современные покрытия», а также аналоги других предприятий в виде создания термо-адгезионного третьего верхнего слоя гидроизоляции, обладающие также защитными свойствами с учетом возможности перемещения по нему построенного транспорта.

В результате патентного исследования и сравнительного анализа полимерных материалов для гидроизоляции мостовых сооружений в качестве и объекта исследования выбирается полимерный материал (трехслойная конструкция) отечественного производства типа «Гидрофлекс-1» и его близкие аналоги (рис. 2) по показателям адгезии к бетону и металлу, обеспеченной однородности прочностных свойств, температуре эксплуатации, меньшего количества конструктивных слоев и наибольшим подтвержденным сроком службы.



Рисунок 2. Система гидроизоляции на основе эластомера типа «Гидрофлекс-1» (составлено ООО «НПФ «Современные покрытия»)

Figure 2. Waterproofing system on the elastomer «Gidrofleks-1» type basis (compiled by Limited Liability Company «Research and Production Company «Modern Coatings» LLC)

Оборудование и работы для устройства напыляемой гидроизоляции представлено на рисунке 3.



Рисунок 3. Оборудование и работы для устройства напыляемой гидроизоляции (фото авторов)

Figure 3. Equipment and works for sprayed-on waterproofing (photo by the authors)

По результатам проведенного А.Н. Каменских патентного поиска разработана сводная таблица 1.

Таблица 1 / Table 1

Близкие аналоги гидроизоляции мостовых сооружений

Close analogues of bridge structures waterproofing

Производитель или название гидроизоляционного материала <i>Manufacturer or waterproofing material name</i> Технологические характеристики (по данным производителей и/или поставщиков) <i>Technological characteristics (according to manufacturers and/or suppliers)</i>	Рабберфлекс-55 (материал российской разработки) <i>Rabberflex-55 (Russian developed material)</i>	CONIBRIDG 2301 фирмы BASF (Швейцария) <i>CONIBRIDG 2301 from BASF (Switzerland)</i>	Sika <i>Sika</i>	MATACRYL компаний RPM / Belgium N&V и Altecо Technik GmbH (Бельгия) <i>MATACRYL by RPM/Belgium N&V and Altecо Technik GmbH (Belgium)</i>	Гидрофлекс-1 (материал российской разработки) <i>Hydroflex-1 (Russian developed material)</i>
Количество технологических слоев <i>Number of technological layers</i>	3/4	4/6	3	4	3
Общая толщина, мм <i>Total thickness, mm</i>	от 2,0 до 3,0 <i>from 2,0 to 3,0</i>	от 2,5 до 3,5 дополнительно до 4 см <i>2,5 to 3.5 cm up to 4 cm in addition</i>	3–5	2,5	2,5–3
Производительность гидроизоляционных работ <i>Waterproofing works Performance</i>	1 000 м ² в смену <i>1 000 m² per shift</i>	500 м ² в смену <i>500 m² per shift</i>	700 м ² в смену <i>700 m² per shift</i>	2 000 м ² в смену <i>2 000 m² per shift</i>	1 000–1 200 м ² в сутки <i>1 000–1 200 m² per day</i>
Адгезия к бетону <i>Adhesion to concrete</i>	> 20 кгс/см ² <i>> 20 kgf/cm²</i>	25,7 кгс/см ² <i>25,7 kgf/cm²</i>	15 кгс/см ² <i>15 kgf/cm²</i>	> 34 кг/см ² <i>> 34 kg/cm²</i>	15–35 кгс/см ² <i>15–35 kgf/cm²</i>
Адгезия к металлу <i>Adhesion to metal</i>	> 20 кгс/см ² <i>> 20 kgf/cm²</i>	26,5 кгс/см ² <i>26,5 kgf/cm²</i>	11 кгс/см ² <i>11 kgf/cm²</i>	> 40 кг/см ² <i>> 40 kg/cm²</i>	50–120 кгс/см ² <i>50–120 kgf/cm²</i>
Адгезия асфальтобетона к г/и материалу <i>Adhesion of asphalt concrete to waterproof material</i>	> 7 кгс/см ² <i>> 7 kgf/cm²</i>	22,5 кгс/см ² <i>22,5 kgf/cm²</i>	20 кгс/см ² <i>20 kgf/cm²</i>	20 кг/см ² <i>20 kg/cm²</i>	> 10 кгс/см ² <i>> 10 kgf/cm²</i>
Напряжения сдвига (за норматив можно принять 5,8 кгс/см ²): — в системе «бетон-гидроизоляция-асфальт», кгс/см ² <i>Shear stresses (5,8 kgf/cm² can be taken as a standard): — in the system «concrete-hydroisolation-asphalt», kgf/cm²</i>	3,3 кгс/см ² <i>3,3 kgf/cm²</i>	2,94 кгс/см ² <i>2,94 kgf/cm²</i>	11 кг/см ² (разрушение по а/б) <i>11 kg/cm² (a/b fracture)</i>	7 кгс/см ² <i>7 kgf/cm²</i>	> 7 кгс/см ² <i>> 7 kgf/cm²</i>

Производитель или название гидроизоляционного материала <i>Manufacturer or waterproofing material name</i> Технологические характеристики (по данным производителей и/или поставщиков) <i>Technological characteristics (according to manufacturers and/or suppliers)</i>	Рабберфлекс-55 (материал российской разработки) <i>Rabberflex-55 (Russian developed material)</i>	CONIBRIDG 2301 фирмы BASF (Швейцария) <i>CONIBRIDG 2301 from BASF (Switzerland)</i>	Sika <i>Sika</i>	MATACRYL компаний RPM / Belgium N&V и Alteco Technik GmbH (Бельгия) <i>MATACRYL by RPM/Belgium N&V and Alteco Technik GmbH (Belgium)</i>	Гидрофлекс-1 (материал русской разработки) <i>Hydroflex-1 (Russian developed material)</i>
— в системе «металл-гидроизоляция-асфальт», кг/см ² — <i>in the system «metal-hydro-insulation-asphalt», kgf/cm²</i>			20 кг/см ² (разрушение по а/б) <i>20 kg/cm² (a/b fracture)</i>	7 кгс/см ² <i>7 kgf/cm²</i>	
Теплостойкость <i>Heat resistance</i>	150°C, временно до 250°C (2 ч.) (результаты испытаний представлены) <i>150°C, short-term up to 250°C (2 h) (test results provided)</i>	140°C, временно до 240°C (результаты испытаний отсутствуют) <i>140°C short-term up to 240°C (test results not available)</i>	кратковременно до 250°C <i>short-term up to 250°C</i>	до 250°C <i>up to 250°C</i>	150°C, кратковременно до 230°C (4 ч.) <i>150°C short-term up to 230°C (4 h)</i>
Температура эксплуатации <i>Operating temperature</i>	от -50°C до 9°C <i>-50°C to 9°C</i>			от -50°C до 70°C <i>-50°C to 70°C</i>	от -60°C до 90°C <i>from -60°C to 90°C</i>
Срок службы, лет <i>Service life, years</i>	25	-	50?	30	47

Составлена А.Н. Каменских / Compiled by A.N. Kamenskikh

Согласно информации на сайте <http://www.tn.ru/catalogue/gidro/most/> теплостойкость рулонной гидроизоляции «Техноэластмост» не менее 140°C. Это означает, что при разновысотности выступов (вниз) нижнего слоя литого асфальтобетона равной 3 мм прокол гидроизоляции будет достигнут для 50 % площади гидроизоляции.

При определении перечня работ составлен Локальный сметный расчет на устройство гидроизоляции «Техноэластмост» тип Б в ценах 2018 г.

Применены ТСН-2001 Сборник дополнений и изменений № 67 Территориальные сметные нормативы ТСН-2001. Комитет города Москвы по ценовой политике в строительстве и государственной экспертизе проектов. Москва. 2023. Сборник 30. Мосты и трубы Отдел 4. Разные работы Раздел 4. Гидроизоляция проезжей части мостов, опор мостов и труб и ФСНБ-2020 с индексом для г. Москва (норма 30-08-023-03).

С учетом анализа существующей практики применения оклеечной информации и напыляемой нагреваемой полимерной гидроизоляции типа «Гидрофлекс-1» составлена сравнительная таблица 2 перечня работ по устройству, капитальному ремонту и ремонту по годам (до 48 года) в применении к измерителю 1,0 квадратный метр (1,0 м²).

Таблица 2 / Table 2

Перечень работ по устройству, капитальному ремонту и ремонту

List of works on installation, overhaul and repair

Год Year	Наклеечная гидроизоляция типа «ТехноэластМост Б» Glue-on waterproofing of «TechnoelastMost B» type	Стоимость, т. р. Cost, kRUB	Напыляемая гидроизоляция типа «Гидрофлекс-1» Sprayed waterproofing of «Gidroflex-1» type				Стоимость, т. р. Cost, kRUB
1	Устройство гидроизоляции верхнего слоя их литого а.б. и ЩМА The top layer waterproofing application of their cast a.b. and macadam and mastic asphalt concrete	2,810 + 10,000 = 12,810					15,4 + 10,0 = 25,4
2	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, gouges)	0,1					
3	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, dents)	0,1					
4	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, dents)	0,1	Текущий ремонт Current repair				0,1
5	Капитальный ремонт (фрезерование верхнего слоя, новое устройство гидроизоляции) Overhaul (top layer milling, new waterproofing)	2,810 + 10,000 = 12,810					
6	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1					
7	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1	Фрезерование ЩМА, новое устройство ЩМА Macadam and mastic asphalt milling, installing new macadam and mastic asphalt concrete				1 + 5 = 6

Год Year	Наклеенная гидроизоляция типа «ТехноэластМост Б» Glue-on waterproofing of «TechnoelastMost B» type	Стоимость, т. р. Cost, kRUB	Напыляемая гидроизоляция типа «Гидрофлекс-1» Sprayed waterproofing of «Gidroflex-1» type	Стоимость, т. р. Cost, kRUB
8	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		
9	Капитальный ремонт (фрезерование верхнего слоя, новое устройство гидроизоляции) Overhaul (milling of the top layer, new waterproofing)	0,1		
10	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1	Текущий ремонт Current repair	0,1
11	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		
12	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		
13	Капитальный ремонт (фрезерование верхнего слоя, новое устройство гидроизоляции) Overhaul (top layer milling, new waterproofing)	2,810 + 10,000 = 12,810	Фрезерование ЩМА, новое устройство ЩМА Macadam and mastic asphalt milling, installing new macadam and mastic asphalt concrete	1 + 5 = 6
14	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		
15	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		
16	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1	Текущий ремонт Current repair	0,1
17	Капитальный ремонт (фрезерование верхнего слоя, новое устройство гидроизоляции) Overhaul (top layer milling, new waterproofing)	2,810 + 10,000 = 12,810		
18	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		
19	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1	Фрезерование ЩМА, новое устройство ЩМА Macadam and mastic asphalt milling, installing new macadam and mastic asphalt concrete	1 + 5 = 6
20	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		

Год Year	Наклеенная гидроизоляция типа «ТехноэластМост Б» Glue-on waterproofing of «TechnoelastMost B» type	Стоимость, т. р. Cost, kRUB	Напыляемая гидроизоляция типа «Гидрофлекс-1» Sprayed waterproofing of «Gidroflex-1» type	Стоимость, т. р. Cost, kRUB
21	Капитальный ремонт (фрезерование верхнего слоя, новое устройство гидроизоляции) Overhaul (top layer milling, new waterproofing)	2,810 + 10,000 = 12,810		
22	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1	Текущий ремонт Current repair	0,1
23	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, outbursts)	0,1		
24	Текущий ремонт (ямочный, устранение пучин, выпоров) Current repair (patching, frost boil removal, dents)	0,1		

Составлена А.Н. Каменских / Compiled by A.N. Kamenskikh

Технико-экономический расчет, подтверждающий эффективность применения технологии в сравнении с традиционно применяемыми

Technical and economic calculation confirming the technology application efficiency in comparison with traditionally used technologies

Расчет экономической эффективности и целесообразности применения новых технологий, материалов и технологических решений осуществляется в пять этапов:

1. На первом этапе определяется традиционная технология реализации элемента объекта транспортной инфраструктуры сопоставимой по требуемым технико-эксплуатационным характеристикам с новыми и наилучшими технологиями, материалами и технологическими решениями повторного применения.

Базовый сценарий проекта для целей традиционной технологии выбираем следующую конструкцию бетонная подготовка — гидроизоляция — верхний слой из литого асфальтобетона и щебеночно-мастичного асфальтобетона. Категория дороги — III. Количество полос движения — две. Зона — III, Федеральный округ — Приволжский. Фактическая интенсивность транспортного потока — более 4001 авт./сутки (ОДМ 218.4.023-2015, Приложение В, Таблица В.2, В.3).

Инновационный сценарий проекта — это применение новой технологии устройства гидроизоляции мостового сооружения. Категория дороги — III. Количество полос движения — две. Зона — III, Федеральный

округ — Приволжский. Фактическая интенсивность транспортного потока — более 4 001 авт./сутки.

2. На втором этапе по элементам сравнения определяются технико-эксплуатационные характеристики элементов, необходимые для расчета, определенного в подразделе «Показатели оценки эффективности и методы их расчета».

Продолжительность расчетного периода (срок сравнения вариантов) (Т) устанавливаем от последствий реализации сценариев на протяжении расчетного периода сравнения вариантов с очень большим сроком службы, т. е. более двух сроков до капитального ремонта. Срок жизни проекта (число шагов) 48 лет. В нулевой год проекта (2023 г.) производятся проектные работы и строительство объекта.

Определяем общественную (социальную) норму дисконта в соответствии с Методическими рекомендациями, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$E_t = \left(\frac{(100+r_c)}{(100+i)} + \frac{P}{100} - 1 \right) \times 100, \quad (1)$$

где r_c — безрисковая не дисконтированная общественная (социальная) норма (ставка) дисконта, % (значение r_c принимается в виде средней ставки долгосрочной доходности Государственных казначейских обязательств (бескупонной доходности государственных облигаций со сроком погашения 30 лет) по данным Центробанка Российской Федерации на дату выполнения расчета, %), $r_c = 8\%$; i — годовой темп инфляции, % (значение i устанавливается по строке «Инфляция (ИПЦ) среднегодовая» в соответствии с прогнозом социально-экономического развития Российской Федерации на соответствующий период, $i = 6\%$; P — поправка на риск, % (устанавливается в соответствии с таблицей 6.1.3.3 в соответствии с «ОДМ. Руководство по оценке экономической эффективности использования в дорожном хозяйстве инноваций и достижений научно-технического прогресса» / утв. Распоряжением Минтранса РФ от 10.12.2002 № ОС-1109-р. Принимаем низкий риск верхнюю границу $P = 5\%$.

$$E_t = \left(\frac{(100 + r_c)}{(100 + i)} + \frac{P}{100} - 1 \right) \times 100 = (108/106 + 5/100 - 1) \times 100 = 6,9\%$$

Предполагаем, что данная норма дисконта будет неизменной за жизненный цикл 25 лет.

3. На третьем этапе определяется сметная стоимость сравниваемых вариантов на основании федеральных единичных расценок на строительные и специальные строительные работы по элементам затрат и экономических эффектов на экономию на цемент и его перевозку, а также нормативно-правовых актов, регламентирующих стоимость содержания.

Для базового сценария проекта стоимость традиционной технологии устройства гидроизоляции мостового сооружения т. р./м² определяется по ОДМ 218.4.023-2015, Приложение Б, Таблица Б.1, раздел 3 Автомобильные дороги категории III. Стоимость строительства авт. дороги т. р./м² на конец 2013 года — 37 991,49. Используя индексы сметной стоимости с 2013 по 2023 гг. получим стоимость устройства гидроизоляции мостового сооружения т. р./м² (в ценах 2021 г.) — 61 148,04.

Для инновационного сценария стоимость проекта определим по коэффициенту, который рассчитывается путем отношения стоимости ранее рассчитанных аналогичных проектов в ценах 2012 года. На тот период отношение капитальных затрат традиционной технологии с технологией устройства гидроизоляции мостового сооружения: $K = 3\,357\,545 / 4\,638\,827 = 0,72$. Поэтому принимается стоимость капитальных затрат нового проекта т. р./м² (в ценах 2021 г.) — $61\,148,04 \times 0,72 = 44\,026,59$.

Проектные работы не учитываются.

Другие экономические эффекты незначительны, в пределах погрешности расчета.

Далее определяются эксплуатационные затраты на капремонты, ремонты и содержание дороги для базисного сценария.

По ОДМ 218.4.023-2015, Приложение В, Таблица В.4, В.3).

Нормативы стоимости капитального ремонта т. р./км (в ценах 2013 г.) — 26 275 (ОДМ 218.4.023-2015, Приложение В, Таблица В.6).

Нормативы стоимости ремонта т. р./км (в ценах 2013 г.) — 6 670 (ОДМ 218.4.023-2015, Приложение В, Таблица В.5).

Нормативы стоимости содержания автомобильной дороги т. р./км (в ценах 2013 г.) — 979 (ОДМ 218.4.023-2015, Приложение В, Таблица В.4).

Используя индексы сметной стоимости с 2013 по 2023 гг. получим следующие стоимости эксплуатационных затрат на капремонты, ремонты и содержание дороги для базисного сценария в т. руб./км:

Нормативы стоимости кап. ремонта т. р./км (в ценах 2023 г.) — 42 290,14.

Нормативы стоимости ремонта т. р./км (в ценах 2023 г.) — 10 735,50.

Нормативы стоимости содержания автомобильной дороги т. р./км (в ценах 2023 г.) — 1 575,72.

Теперь определяем эксплуатационные затраты на капремонты, ремонты и содержание для инновационного сценария. Учитывая практику проектирования и ремонта аналогичных технологий, принимаем для расчета снижение стоимости эксплуатационных затрат на капремонты,

ремонт и содержание на коэффициент 0,5. Тогда стоимости ремонтов будут следующие в т. руб./км:

Стоимость капитального ремонта т. р./км (в ценах 2023 г.) — $42\,290,14 \times 0,5 = 21\,145,07$.

Нормативы стоимости ремонта т. р./км (в ценах 2023 г.) — $10\,735,5 \times 0,5 = 5\,367,75$.

Нормативы стоимости содержания автомобильной дороги т. р./км (в ценах 2023 г.) — $1\,575,72 \times 0,5 = 787,86$.

4. На четвертом этапе, определяются сроки службы между капитальными ремонтами (ремонтами) элементов объектов транспортной инфраструктуры, устанавливаемые для традиционных технологий на основании действующих нормативов, а для новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений в соответствии с предложенными методологиями расчета.

На основании ОДМ 218.4.023-2015 (Приложение В, Таблица В.1, В.2, В.3) определяем межремонтный срок капитального ремонта — 12 лет. Для текущих ремонтов межремонтный срок — 2 года.

Таким образом, для базисного сценария, в срок жизни проекта 48 лет будет сделано пять капитальных ремонтов и 18 текущих ремонтов.

Для инновационного сценария определяем межремонтный срок капитального ремонта также в 12 лет. Для текущих ремонтов межремонтный срок — четыре года. Из-за применения новой технологии будет снижение количества ремонтов с 23 до семи.

5. На пятом этапе осуществляется расчет показателей ЧДД, ИДД, ВНД и ДСО, на основании которых подтверждается эффективность внедрения.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) на протяжении всего расчетного периода:

$$\text{ЧДД} = \text{ДЗ}_{\text{бс}} - \text{ДЗ}_{\text{ис}}, \quad (2)$$

где $\text{ДЗ}_{\text{бс}}$ — интегральные дисконтируемые затраты от устройства и эксплуатации традиционных технологий в конструктивных элементах объектов транспортной инфраструктуры; $\text{ДЗ}_{\text{ис}}$ — интегральные дисконтируемые затраты от устройства и эксплуатации инновационных технологий в конструктивных элементах объектов транспортной инфраструктуры.

Формулы расчета интегральных дисконтированных затрат от устройства и эксплуатации традиционных ($\text{ДЗ}_{\text{бс}}$) / инновационных технологий ($\text{ДЗ}_{\text{ис}}$) на объектах транспортной инфраструктуры рассчитываются следующим образом:

$$ДЗ_{\text{бс}} = \sum_{i=1}^n \frac{КР_i^{\text{бс}}}{\prod_{t=1}^i (1+E_t)} + \sum_{j=1}^m \frac{P_j^{\text{бс}}}{\prod_{t=1}^j (1+E_t)} + \sum_{t=1}^T \frac{C_t^{\text{бс}}}{\prod_{t=1}^T (1+E_t)}, \quad (3)$$

$$ДЗ_{\text{ис}} = \sum_{i=1}^n \frac{КР_i^{\text{ис}}}{\prod_{t=1}^i (1+E_t)} + \sum_{j=1}^m \frac{P_j^{\text{ис}}}{\prod_{t=1}^j (1+E_t)} + \sum_{t=1}^T \frac{C_t^{\text{ис}}}{\prod_{t=1}^T (1+E_t)}, \quad (4)$$

где $КР_i^{\text{бс}}$ — затраты на осуществление i -го капитального ремонта по традиционной технологии конструктивного элемента объекта транспортной инфраструктуры; $КР_i^{\text{ис}}$ — затраты на осуществление i -го капитального ремонта по новым и наилучшим технологиям, материалам и технологическим решениям повторного применения конструктивного элемента объекта транспортной инфраструктуры; $P_j^{\text{бс}}$ — затраты на осуществление j -го ремонта по традиционной технологии конструктивного элемента объекта транспортной инфраструктуры; $P_j^{\text{ис}}$ — затраты на осуществление j -го ремонта по новым и наилучшим технологиям, материалам и технологическим решениям повторного применения конструктивного элемента объекта транспортной инфраструктуры; $C_t^{\text{бс}}$ — затраты на содержание конструктивного элемента объекта транспортной инфраструктуры реализуемый по традиционной технологии; $C_t^{\text{ис}}$ — затраты на содержание конструктивного элемента объекта транспортной инфраструктуры, реализуемый по новым и наилучшим технологиям, материалам и технологическим решениям повторного применения конструктивного; n — количество капитальных ремонтов за расчетный период T ; m — количество ремонтов за расчетный период T ; E_t — общественная (социальная) норма дисконта (дохода) в относительных единицах измерения в году t , в долях; $1/(1+E_t)$ — коэффициент дисконтирования в году t , в долях.

Итак, ЧДД на 25 году проекта будет (см. расчёт таблицы Excel):

$$\text{ЧДД} = ДЗ_{\text{бс}} - ДЗ_{\text{ис}} = 77\,848,20 - 33\,589,59 = 44\,258,61 \text{ т. руб.}$$

На 12 году проекта (первый капремонт):

$$\text{ЧДД} = 30\,426,92 \text{ т. руб.}, \text{ т. е. в обоих случаях } \text{ЧДД} > 0.$$

Значение экономического показателя — индекса доходности дисконтированных инвестиций (ИДД) определяется по следующей формуле:

$$\text{ИДД} = 1 + \text{ЧДД}/K. \quad (5)$$

Итак, ИДД на 25 году проекта будет (см. таблицы расчета):

$$\text{ИДД} = 1 + 5,31 = 6,31.$$

На 12 году проекта (первый капремонт):

$$\text{ИДД} = 2,54, \text{ т. е. в обоих случаях } \text{ИДД} > 1.$$

Значение ИДД показывает, какой экономический эффект принесет «инновационное решение» на рубль вложенных средств. Так, если $\text{ЧДД} > 0$, то $\text{ИДД} > 1$, и, наоборот.

Величина экономического показателя — внутренней нормы доходности (ВНД) показывает такую ставку доходности (норму дисконта), при которой значение $\text{ЧДД} = 0$:

$$\text{ВНД} = E_1 + (\text{ЧДД}_1 / (\text{ЧДД}_1 - \text{ЧДД}_2)) \times (E_2 - E_1), \quad (6)$$

где $\text{ЧДД}_1 = 20\,563,94$, последнее значение ЧДД при минусе; $\text{ЧДД}_2 = 21\,199,92$, значение ЧДД перехода с минуса на плюс; $E_1 = 6,9\%$, $E_2 = 6,9\%$.

$$\text{ВНД} = 6,9 + (20\,563,94 / (20\,563,94 - 21\,199,92)) \times (6,9 - 6,9) = 6,9 + 0 = 6,9\%.$$

$\text{ВНД} = E_{\text{нд}}$, т. е. не меньше $E_{\text{нд}}$, это значит, что проект можно принять.

Дисконтированный срок окупаемости ДСО, определяющий период времени от момента начала до момента, когда ЧДД становится неотрицательным, то есть $\text{ЧДД} > 0$.

В нашем случае это **начало 17 года**.

$$\text{ДСО} = 12. \quad ()$$

Срок окупаемости 17 лет находится в середине жизненного цикла проекта (48 лет) (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Перечень расчетных показателей дисконтированного срока окупаемости

Estimate indicator list of discounted pay-back period

Показатели <i>Indicators</i>
Срок жизни проекта (число шагов) лет <i>Project life time (number of steps) years</i>
Начало проекта (0 год начало проекта) <i>Project start (0 year project start)</i>
Единица измерения расчета на 1 км <i>Unit of measure calculation per 1 km</i>
Показатели <i>Indicators</i>
Безрисковая норма дисконта rc <i>Risk-free discount rate rc</i>
Годовой темп инфляции <i>Annual inflation rate</i>
Степень риска <i>Risk level</i>
Норма дисконта Енд в долях <i>Discount rate End in fractions</i>

1 + Енд $1 + E_{нд}$
(1 + Енд) t $(1 + E_{нд}) t$
Коэффициент дисконтирования <i>Coefficient of discounting</i>
Текущие затраты «Новая технология» <i>Current costs of «New Technology»</i>
Показатели / Года <i>Indicators / Years</i>
Капитальные затраты на устройство верхнего слоя 1 м ² <i>Capital expenditure on top layer 1 m²</i>
Затраты на капитальный ремонт <i>Capital repair costs</i>
Затраты на текущий ремонт <i>Costs for current repair</i>
Сумма затрат по году <i>Sum of costs by year</i>
ДЗис $\overline{ДЗ}_{ис}$
Затраты «Традиционная технология» <i>Costs "Traditional technology"</i>
Показатели / Года <i>Indicators / Years</i>
Капитальные затраты на устройство верхнего слоя 1 м ² <i>Capital expenditures for the top layer installation 1 m²</i>
Затраты на капитальный ремонт <i>Overhauling costs</i>
Затраты на текущий ремонт <i>Costs for current repair</i>
Сумма затрат по году <i>Sum of costs by year</i>
ДЗбс $\overline{ДЗ}_{ис}$
Показатели / Года <i>Indicators / Years</i>
ЧДД по годам <i>ЧДД by year</i>
ЧДД по годам нарастающим итогом <i>ЧДД by year cumulative total</i>
ДК $\overline{ДК}$
ЧПС нарастающим итогом <i>ЧПС cumulative total</i>
ИД по годам <i>ИД by year</i>
ИДД по годам <i>ИДД by year</i>
ДСО $\overline{ДСО}$
ВНД% $\overline{ВНД\%}$

Компьютерная программа разработана Л.В. Янковским и Белозеровым Я.М., тестирование и отладка — М.И. Белозеровым, составление сметы и алгоритма — А.Н. Каменских / Computer programme developed by L.V. Yankovskiy and Y.M. Belozerov, testing and debugging — by M.I. Belozerov, costing and algorithm — by A.N. Kamenskikh

В качестве новой технологии оценивалась напыляемая гидроизоляция типа «Гидрофлекс-1» В качестве традиционной технологии оценивалась наклеенная гидроизоляция типа «ТехноэластМост Б».

Были получены следующие результаты:

Величина накопленного чистого дисконтированного дохода за срок сравнения вариантов является приоритетным показателем, при котором «инновационное решение» считается эффективным. В нашем случае за 49 лет проекта: ЧДД = 16,84 т. руб., ИДД > 13,69 и ВНД = 0,069, ДСО = 17.

Для обеспечения срока службы разработаны рекомендации по совершенствованию технологии устройства напыляемой полимерной гидроизоляции мостовых сооружений при пониженных температурах:

1. Предварительная тепловая стабилизация компонентов смеси в течение не менее 1 часа (преднагрев) с целью обеспечения однородности теплового поля компонентов смеси.
2. Учет прогноза погоды и предварительное теплофизическое моделирование процесса охлаждения напыляемой смеси, расчет оптимальной температуры нагрева.
3. Повышение качества подготовки обрабатываемой поверхности с повышением требований к макрошероховатости не более 1,5 мм.
4. Использование тепловизора при операционном контроле качества нанесения напыляемой гидроизоляции.
5. Операционный контроль минимальной толщины слоя гидроизоляции не менее 1,5 мм.
6. Своевременное обнаружение, идентификация фазового состояния каверн их заделка до завершения полимеризации.
7. Использование проявляющих тонких слоев, наносимых на грунтовочный слой перед нанесением слоя гидроизоляции.

Выводы

Conclusions

1. Величина накопленного чистого дисконтированного дохода за срок сравнения вариантов является приоритетным показателем, при котором «инновационное решение» считается эффективным. В нашем случае за 49 лет проекта чистый дисконтированный доход равен 16,84 т. руб. на 1 м² ездового полотна мостового сооружения.
2. Дисконтированный срок окупаемости, определяющий период времени от момента начала до момента, когда ЧДД становится неотрицательным. В нашем случае это начало 17-го года.
3. Поэтому новая технология по инновационному сценарию является эффективной.

4. Из-за применения новой технологии будет снижение количества текущих ремонтов с 24 до восьми.
5. Другие экономические эффекты незначительны, в пределах погрешности расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, А.В. Ефанов [и др.]. — Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2004. — 231 с. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19634443> (дата обращения: 25.06.2023). — EDN: QNREIV. (дата обращения: 25.06.2023).
2. **Овчинников, И.И.** Систематизация и сравнительный анализ различных типов гидроизоляции, применяемых на автодорожных мостовых сооружениях / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Ш.Н. Валиев, С.В. Жаденова // Интернет-журнал Науковедение. — 2013. — № 5. — С. 56tvn513. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/56tvn513.pdf>. — EDN RXOXFR. (дата обращения: 25.06.2023).
3. **Борисов, Н.А.** Гидроизоляция строительных объектов методом холодного бесшовного напыления жидкой резиной / Н.А. Борисов // Научное и образовательное пространство: перспективы развития: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 13 августа 2017 года / Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью "Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2017. — С. 220–227. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29927004>. — EDN ZEXFED. (дата обращения: 25.06.2023).
4. **Дубиняк, А.Н.** Гидроизоляционные материалы для защиты конструкций транспортных сооружений / А.Н. Дубиняк, И.И. Овчинников. — DOI <https://doi.org/10.15862/21SATS220> // Транспортные сооружения. — 2020. — Т 7. — № 2. — С. 21SATS220. — URL: <https://t-s.today/21SATS220.html>. — EDN DNRFEV. (дата обращения: 25.06.2023).
5. **Овчинников, И.Г.** Эффективные конструкции дорожных одежд с применением асфальтобетона на мостовых сооружениях / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, М.А. Телегин, С.В. Хохлов // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 2. — С. 76TVN114. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN114.pdf>. — EDN SDKDWX. (дата обращения: 25.06.2023).
6. **Янковский, Л.В.** Техническое нормирование макрошероховатости дорожных покрытий автомобильных и лесовозных дорог / Л.В. Янковский, А.В. Кочетков, Н.Е. Кокодева. — Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2019. — 321 с. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41422610>. — EDN: UMCFCN. (дата обращения: 25.06.2023).
7. **Петрович, И.Г.** Устройство мембранной напыляемой гидроизоляции из композиционных материалов на мостах и объектах капитального строительства / И. Г. Петрович, Ш. Н. Валиев, А.Н. Каменских, А.В. Кочетков. — DOI <https://doi.org/10.24412/2409-4358-2023-1-13-32> // Новые технологии в строительстве. — 2023. — № 1. — С. 13–32. — URL: https://newtechnologies.elpub.ru/jour/article/view/51?locale=ru_RU. — EDN PLANNA. (дата обращения: 25.06.2023).
8. **Каменских, А.Н.** Секрет долговечности. Практические работы по видеоидентификации теплового поля напыляемого горячего слоя гидроизоляции с помощью тепловизора / А.Н. Каменских // 40–43. — 2023. — № 3. — С. 40–43.
9. **Каменских, А.Н.** Устройство напыляемой полимерной гидроизоляции мостовых сооружений на основе теплофизического моделирования и нормирования макрошероховатости / Ш.Н. Валиев, А.Н. Каменских, И.Г. Петрович, П.А. Журавлев. — Под науч. ред. проф. А.В. Кочеткова. — М.: ООО «Строинформиздат», 2023. — 187 с.
10. **Каменских, А.Н.** Устройство напыляемой полимерной гидроизоляции мостовых сооружений с учетом теплофизического моделирования / А.Н. Каменских. — DOI <https://doi.org/10.15862/01SAT5223> // Транспортные сооружения. — 2023. — Т 10. — № 2. — С. 01SATS223. — URL: <https://t-s.today/01SATS223.html>. — EDN PCNIPU. (дата обращения: 07.07.2023).

11. **Rautela, P.S.** Waterproofing of Bridge Decks the Latest Technique and Material / P.S. Rautela // NBM&CW. — 2008. — URL: <https://www.nbmcw.com/product-technology/construction-chemicals-waterproofing/waterproofing-repair-chemicals/waterproofing-of-bridge-decks-the-latest-technique-and-material.html>. (дата обращения: 07.07.2023).
12. **Haga, J.** Bridge decks: Waterproofing and wearing course / J. Haga. — Norwegian Public Roads Administration, 1997.
13. **Kaldas A.** Sillatekkide asfaltkatendit [Асфальтовые покрытия для пролетов мостов] / A. Kaldas. — Брюссель: European Asphalt Pavement Association, 2013. — 32 с. — URL: https://www.taristuehitus.ee/files/filemanager/files/EAPA_arvamusraport_sildade_asfaltkatendite.pdf (дата обращения: 07.07.2023). — (На эст. яз.).
14. **Holter, K.G.** Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels / K.G. Holter, R. Foord // SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Region. ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly. May 22–28, 2015 / 2015. — URL: https://www.researchgate.net/publication/278156866_Testing_of_properties_and_constructability_considerations_of_EVA-based_sprayed_membranes_for_waterproofing_of_tunnels. (дата обращения: 07.07.2023).
15. **Gong, Y.** Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology / Y. Gong, H. Bi, C. Liang, S. Wang. — DOI <https://doi.org/10.3390/app8112191> // Applied Sciences. — 2018. — Т 8. — № 11. — С. 2191. — URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/11/2191>. (дата обращения: 07.07.2023).

Сведения об авторах:

Кочетков Андрей Викторович — доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, e-mail: soni.81@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6523-6095>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=179080

Каменских Александр Николаевич¹ — заместитель главного инженера, ФКУ «Центравтомагистраль», Москва, Россия, e-mail: kamenskih@rosdormii.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7726-7617>

Валиев Шерали Назаралиевич — профессор, доцент, ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Россия, e-mail: yaneperm@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0770-6714>

Янковский Леонид Вацлавович — кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия, e-mail: yaneperm@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3079-9346>

Белозеров Михаил Ильич — главный инженер, АО «Союздорпроект», Москва, Россия, e-mail: ybm-20@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2752-1517>

Белозеров Ярослав Михайлович — ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия, e-mail: ybm-20@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2418-9559>

Статья получена: 18.08.2023. Принята к публикации: 08.12.2023. Опубликовано онлайн: 23.12.2023.

¹ <https://gospol.ru/person/mintrans/rosavtodor/kamenskih-aleksandr-nikolaevich/>

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.G., Makarov V.N., Efanov A.V. et al. [Road bridge deck using cast asphalt concrete and modern expansion joints]. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 2004. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19634443> (accessed 25th June 2023). (In Russ.).
2. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Valiyev Sh.N., Zhadenova S.V. Classification and comparative analysis of different types of waterproofing applied to the road bridges. *Naukovedenie*. 2013; (5): 56tvn513. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/56tvn513.pdf> (accessed 25th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Borisov N.A. [Waterproofing of construction sites using cold seamless spraying with liquid rubber]. In: [Scientific and educational space: development prospects: Collection of materials of the VI International Scientific and Practical Conference, Cheboksary, August 13, 2017]. Cheboksary: Tsentr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plus»; 2017. p. 220–227. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29927004> (accessed 25th June 2023). (In Russ.).
4. Dubinyak A.N., Ovchinnikov I.I. Waterproofing materials to protect the structures of transport structures. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2020; 7(2): 21SATS220. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/21SATS220>.
5. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Telegin M.A., Khokhlov S.V. Effective asphalt pavement structure on the bridges. *Naukovedenie*. 2014; (2): 76TVN114. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN114.pdf> (accessed 25th June 2023). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Yankovskiy L.V., Kochetkov A.V., Kokodeyeva N.E. [Technical standardization of macro-roughness of road surfaces on highways and timber roads]. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2019. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41422610> (accessed 25th June 2023). (In Russ.).
7. Petrovich I.G., Valiev S.N., Kamenskih A.N., Kochetkov A.V. Device of membrane sprayed waterproofing from composite materials on bridges and capital construction objects. *New technologies in construction*. 2023; (1): 13–32. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.24412/2409-4358-2023-1-13-32>.
8. Kamenskikh A.N. Sekret dolgovechnosti. Prakticheskiye raboty po videoidentifikatsii teplovogo polya napylyayemogo goryachego sloya gidroizolyatsii s pomoshch'yu teplovizora [The secret to durability. Practical work on video identification of the thermal field of a sprayed hot layer of waterproofing using a thermal imager]. *Avtomobil'nyye dorogi*. 2023; (3): 40–43. (In Russ.).
9. Valiyev Sh.N., Kamenskikh A.N., Petrovich I.G., Zhuravlev P.A. Ustroystvo napylyayemoy polimernoy gidroizolyatsii mostovykh sooruzheniy na osnove teplofizicheskogo modelirovaniya i normirovaniya makrosherokhovatosti [Construction of sprayed polymer waterproofing of bridge structures based on thermophysical modeling and standardization of macro-roughness]. Moscow: Stroinformizdat; 2023. (In Russ.).
10. Kamenskikh A.N. Spray-on polymer waterproofing finishing structure for bridge structures, taking into account thermophysical modeling. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2023; 10(2): 01SATS223. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/01SATS223>.
11. Rautela P.S. Waterproofing of Bridge Decks the Latest Technique and Material. NBM&CW. 2008. Available at: <https://www.nbmccw.com/product-technology/construction-chemicals-waterproofing/waterproofing-repair-chemicals/waterproofing-of-bridge-decks-the-latest-technique-and-material.html> (accessed 7th July 2023). (In Eng.).
12. Haga J. Bridge decks: Waterproofing and wearing course. Norwegian Public Roads Administration; 1997. (In Eng.).
13. Kaldas A. Sillatekkide asfaltkatendid [Asphalt pavements on bridge decks]. Brussels: European Asphalt Pavement Association; 2013. Available at: https://www.taristuehitus.ee/files/filemanager/files/EAPA_arvam_usraport_sildade_asfaltkatendite.pdf (accessed 7th July 2023). (In Estonian).
14. Holter K.G., Foord R. Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels. In: SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Region. ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly. May 22–28, 2015. Available at: https://www.researchgate.net/publication/278156866_Testing_of_properties_and_constructability_considerations_of_EVA-based_sprayed_membranes_for_waterproofing_of_tunnels (accessed 7th July 2023). (In Eng.).

15. Gong Y., Bi H., Liang C., Wang S. Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology. Applied Sciences. 2018; 8(11): 2191. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/app8112191>.

Information about the authors:

Andrey V. Kochetkov — Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,

e-mail: soni.81@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6523-6095>

РИИЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=179080

Alexander N. Kamenskikh — Centravtomagistral, Moscow, Russia, e-mail: kamenskih@rosdornii.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7726-7617>

Sherali N. Valiev — Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI), Moscow, Russia,

e-mail: yanekperm@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0770-6714>

Leonid V. Yankovsky — Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia,

e-mail: yanekperm@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3079-9346>

Mikhail I. Belozarov — Soyuzdorproekt, Moscow, Russia, e-mail: ybm-20@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3079-9346>

Yaroslav M. Belozarov — Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin, Saratov, Russia,

e-mail: ybm-20@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2418-9559>

Submitted: 18th August 2023. Revised: 8th December 2023. Published online: 23rd December 2023.