

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

2022, №2, Том 9 / 2022, N 2, Vol. 9 <https://t-s.today/issue-2-2022.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/04SATS222.pdf>

DOI: 10.15862/04SATS222 (<https://doi.org/10.15862/04SATS222>)

## Ремонт аварийного малого моста нестандартной конструкции с помощью преднапряженных мостовых сеток и битумной суспензии

<sup>1</sup>Кочетков А.В., <sup>2</sup>Каменских А.Н., <sup>3</sup>Шашков И.Г.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

<sup>2</sup>ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

<sup>3</sup>ФГКВБОУ ВО «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Кочетков Андрей Викторович, e-mail: [soni.81@mail.ru](mailto:soni.81@mail.ru)

**Аннотация.** В настоящей статье рассматриваются методические подходы к ремонту и содержанию малых мостов нестандартной конструкции, находящихся в аварийном состоянии, на которые отсутствует проектная документация, а также нормативно-методические документы на организацию и технологии выполнения работ по их эксплуатации. Такие мосты, хотя и в незначительном количестве, присутствуют на территориальных и муниципальных сетях автомобильных дорог, например, в Оренбургской области.

Ездвое полотно получилось гидрофобным. Осадки из-за присутствия диспергированного битума не могут проникнуть под асфальтобетонный слой, между тем вода, находящаяся под асфальтобетонным слоем в течение летнего месяца вышла через поры асфальтобетонного слоя посредством порового давления. Через месяц после проведения аварийных ремонтных работ под действием высокой летней температуры и механической нагрузки от проезжающих транспортных средств произошли завершение консолидационных процессов, связанных с испарением воды, и переход диспергированного битума в пленочное состояние. В пределе у холодной влажной

асфальтобетонной смеси на основе диспергированного вязкого битума достигаются свойства обычных горячих асфальтобетонов.

Устройство ровного, прочного и водонепроницаемого покрытия позволяет свести до минимума динамические воздействия от проходящего транспорта, существенно замедляет разрушительные процессы в несущих элементах моста. Впервые проведен ремонт аварийного малого моста нестандартной конструкции путем пропитки грунтовой среды вокруг опор моста разжиженной битумной суспензией на глубину до 0,5 м, что позволило обеспечить ее равнопрочность. При этом степень диспергирования для данного объекта за счет специфики приготовления битумной суспензии составила 1–10 мкм.

Новым является устройство гидрофобного двухслойного ездвоего полотна без слоя гидроизоляции из холодной влажной асфальтобетонной смеси на основе диспергированного вязкого битума и применения мостовой сетки. Показана возможность применения битумоцементобетонных безусадочных смесей при ремонте каменной кладки мостового сооружения.

Геометрия ездового полотна была подобрана под безударный режим проезда существующего транспортного потока с учетом квадрата скорости движения, высоты ездового полотна и суммы радиусов кривизны неровности и колеса транспортного средства.

Показана возможность применения битумоцементобетонных безусадочных смесей при ремонте каменной кладки мостового сооружения.

Новым результатом также является устройство армирующей системы ездового полотна из

холодного влажного асфальтобетона на основе преднапряжения гибкой с растяжением металлической мостовой сетки в приращениях перемещений.

**Ключевые слова:** мостовое сооружение; малый мост; нестандартная конструкция; диспергированный битум; битумоцементобетон; ремонт; битумная суспензия; мостовая сетка; уплотнение; гидрофобизация; гидроизоляция

## Repair of a minor bridge in the state of failure with an atypical design using prestressed bridge meshes and bitumen slurry

Andrey V. Kochetkov, Alexander N. Kamenskikh, Igor G. Shashkov

Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia  
Federal Autonomous Institution «ROSDORNII», Moscow, Russia  
«Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» of the Ministry of  
Defense of the Russian Federation, Voronezh, Russia

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

**Abstract.** This article discusses methodological approaches to the repair and maintenance of minor bridges with the atypical design that are in the state of failure, that doesn't have design documentation, as well as regulatory and methodological documents for the maintenance work organization and technology. Such bridges, although in small numbers, are present on territorial and municipal road networks, for example, in the Orenburg region.

The bridge floor turned out to be hydrophobic. Precipitation cannot penetrate under the asphalt concrete layer due to the loosened bitumen presence, meanwhile, the water that was under the asphalt concrete layer during the summer month came out through the asphalt concrete layer pores through pore pressure. A month after the emergency repair work, under the influence of high summer temperature and mechanical load from passing vehicles, the consolidation processes associated with the evaporation of water were completed, and the loosened bitumen turned into a film state. In the limit of a cold wet asphalt mix based on dispersed viscous bitumen, the conventional hot asphalt concretes properties are achieved.

Setting smooth, durable, and waterproof coating allows for minimizing the passing traffic dynamic effects, significantly slowing down the destructive processes in the bridge's bearing elements. For the first time, a minor bridge in the state of failure with an atypical design was repaired by grouting the soil ground around the bridge supports with a liquefied bitumen slurry to a

0.5 m depth, which made it possible to ensure its equal strength. At the same time, the dispersion degree for this project was 1–10 microns due to the bituminous slurry preparation specifics.

New is the setting of a hydrophobic double-layered bridge floor without a waterproofing layer from a cold wet asphalt concrete mixture based on dispersed viscous bitumen and the use of a bridge mesh. The possibility of using bitumen-cement-concrete nonshrinking mixtures in the repair of the bridge masonry is shown.

The bridge floor geometry was selected for the shockless mode of the existing traffic flow, with the account of the velocity squared of traffic, the bridge floor height, the sum of curvature radii, and the vehicle wheel.

The possibility of using bitumen-cement-concrete non-shrinking mixtures in the repair of the masonry of a bridge structure is shown.

A new result is also the reinforcing system construction for a bridge floor made of cold wet asphalt concrete based on prestressing of a metal bridge mesh that is flexible with tension in displacement increments.

**Keywords:** bridge structure; minor bridge; atypical design; loosened bitumen; bitumen cement concrete; repair; bitumen slurry; bridge mesh; sealing; hydrophobization; waterproofing

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

В настоящей статье рассматриваются новые методические подходы к ремонту и содержанию малых мостов нестандартной конструкции, находящихся в аварийном состоянии, на которые отсутствует проектная документация, а также нормативно-методические документы на организацию и технологии выполнения работ по их эксплуатации.

Следует отметить, что такие малые мосты присутствуют на территориальных и муниципальных сетях автомобильных дорог, например, в Оренбургской области.

Особенностью выбранного объекта — малого моста на дороге «Подъезд к с. Маячный (ПК 0+25–ПК 40+25)» от автомобильной дороги Оренбург-Орск-Шильда км 182+, расположенного на ПК 22» оказалась выраженная выпуклая геометрия ездого полотна с ненулевым радиусом кривизны в продольном сечении, что позволило впервые отработать технологию армирования ездого полотна металлической мостовой сеткой методом гибки с растяжением по относительным деформациям.

Выбор сравнительно небольшого объекта исследования определяется отсутствием современного нормативно-методического обеспечения по ремонту и содержанию мостовых сооружений, ранее (много десятилетий назад) построенных хозяйственным способом из подручных, разнородных, имеющихся в наличии у местных сельскохозяйственных предприятий материалов. При этом попытка провести работы по его ремонту с помощью известных технологий может привести к его полному разрушению.

Выбор такого объекта был связан с выполнением опытно-экспериментальных работ по устройству защитных обеспыливающих слоев грунтовых дорог, характерных высоким пылеобразованием, протяженностью 16 км на подъезде к с. Маячный до с. Подгорное. Обеспыливающие слои устраивались из влажных дорожных асфальтобетонных смесей на основе вязкого диспергированного битума. Поэтому стояла задача устроить ездое полотно аварийного малого моста по применяемой технологии.

Достаточно полный обзор технической литературы по применению влажных холодных асфальтобетонных смесей приведен в перечне [1–8]. В основном это работы научной школы профессора Саратовского государственного технического университета Н.А. Горнаева. Практически все публикации касаются применения влажных холодных асфальтобетонных смесей на основе диспергированного битума на

автомобильных дорогах на этапах их ремонта и содержания. Степень диспергирования для данных технологий составляла около 0,1–1 мм.

Применение холодных влажных асфальтобетонных смесей на основе микродиспергированного вязкого битума для ремонта мостовых сооружений является новым. При этом степень диспергирования для данного объекта за счет специфики приготовления битумной суспензии составила 1–10 мкм (авторские «ноу-хау», связанные с подбором вязкости суспензиатора).

Тематика микродиспергированной битумной суспензии и композитов на ее основе является авторской и новой.

Применение моделей гибки с растяжением для устройства силовых конструкций отражено в [9; 10].

Иностранные источники по близкой теме приведены в [11–15].

## Постановка задачи

### Research objective

В процессе строительства дороги «Подъезд к с. Маячный (ПК 0+25–ПК 40+25)» от автомобильной дороги Оренбург-Орск-Шильда км 182+150» было проведено обследование малого моста, расположенного на ПК 22.

Мост расположен на закруглении, на прилегающих участках отсутствуют соответствующие дорожные знаки.

Участок автомобильной дороги относится к дорогам с малой интенсивностью движения.

Однопролетный мост длиной 8 м нестандартной конструкции эксплуатируется более 50 лет. Несущими элементами являются металлические двутавровые балки на которые уложены железобетонные плиты размером в плане 1x2 м, выполняющие роль ездового полотна. Каждая плита работает самостоятельно.

В процессе многолетней эксплуатации образовались значительные разрушения опорных частей под балками, нескольких плит ездового полотна, подпорной стены, приведенные на рисунках 1–3.

Мост являлся неремонтопригодным по условиям разнопрочности всех примененных при колхозном строительстве конструктивных элементов и классификационным признакам существующих технологий ремонта и содержания малых мостовых сооружений.





*Рисунок 1. Разрушения опорных элементов малого моста (фото авторов)*  
*Figure 1. Bearing elements destruction of the minor bridge (photo by the authors)*



а



б

*Рисунок 2. Разрушения плит ездового полотна (фото авторов)*  
*Figure 2. Bridge floor deck destruction (photo by the authors)*

При обследовании малого моста было установлено, что разрушения плит, опорных элементов и каменной кладки подпорной стены прогрессируют за счет действия воды, поступающей с разрушенного покрытия через зазоры между плитами. При проезде транспортных средств железобетонные плиты испытывали недопустимые вертикальные деформации до 10 мм.

Следует отметить осыпание вяжущего между камнями каменной кладки и самих камней на дно русла водопропуска (рис. 3).



*Рисунок 3. Разрушения каменной кладки подпорной стены (фото авторов)*

*Figure 3. Retaining structure masonry destruction (photo by the authors)*

Значительные неровности на покрытии ездового полотна вызывают динамические нагрузки от проходящего транспорта, что резко интенсифицирует разрушительные процессы в опорных элементах и ездовом полотне.

Выявленные разрушения позволили сделать вывод об аварийном состоянии малого моста, потенциальной опасности возникновения ДТП, целесообразности разработки мероприятий для ликвидации выявленных недостатков и опасностей рисков.

## Проведение ремонтных работ

### Maintenance work

Был разработан комплекс конструктивных, технологических и организационных решений по повышению работоспособности моста и

безопасности движения, основные из них были реализованы в ходе опытных работ.

Технология ремонта каменной кладки опор заключалась в использовании имеющегося в наличии на месте производства работ каменного материала и цементобетонного раствора, в который в количестве 7 % дополнительно добавлялась битумная суспензия, состоящая из 35 % вязкого микродиспергированного битума (диспергация до 1 мкм) БНД 60-90, 20 % воды и 45 % минерального порошка. Изготовление битумной суспензии проводилось на АБЗ ДС-158 Кувандыкского дорожного управления ГУП «Оренбургремдорстрой», реконструированном для подачи холодных минеральных материалов с естественной влажностью и оснащённым системой подачи и дозирования воды. Подача минеральных материалов осуществлялась, минуя сушильный барабан транспортером с холодного элеватора на горячий элеватор.

Сами работы по ремонту кладки опор проводились вручную.

Выполнено укрепление двух плит моста созданием каменной кладки из выпавших камней с применением цементного раствора с битумной суспензией, представленное на рисунке 4.



*Рисунок 4. Укрепление плит каменной кладкой с применением цементного раствора с битумной суспензией (фото авторов)*

*Figure 4. Reinforcement of slabs with masonry using cement mortar with bituminous slurry(photo by the authors)*

При попытке выполнения штукатурных работ смесью цемента с просеянной ПГС (рис. 5), после схватывания были установлено возникновение усадочных трещин. Из-за них от данной смеси пришлось отказаться.





*Рисунок 5. Усадочные трещины  
для смеси цемента с просеянным ПГС (фото авторов)*

*Figure 5. Shrinkage cracks for a cement  
mixture with sifted sand and gravel mix (photo by the authors)*

В качестве нового технического решения был осуществлен ремонт разрушающихся участков каменной кладки подпорной стены под малым мостом цементобетонной смесью песка и отсева с битумной суспензией (фактически битумоцементобетоном) на основе просеянного ПГС и речного песка — вид которого приведен на рисунке 6.

На цементобетонной смеси с битумной суспензией усадочные трещины отсутствуют.

Для уменьшения динамических воздействий от проходящего транспорта и обеспечения более равномерной передачи нагрузки за счет совместной работы железобетонных плит было выполнено аварийное восстановление ездового полотна моста на основе холодной асфальтобетонной смеси типа Б с диспергированным битумом.

Асфальтовые материалы с диспергированным битумом получают перемешиванием смеси холодных увлажненных щебня, песка, минерального порошка с битумом, нагретым до температуры 140–150°C.

Для производства асфальтовых смесей пригодно серийно выпускаемое оборудование с использованием обычно применяемых в горячем асфальтовом бетоне материалов: щебень, песок, минеральный порошок и битум.



а



б

*Рисунок 6. Ремонт участка каменной кладки подпорной стены битумоцементобетоном (фото авторов)*

*Figure 6. Masonry section repair of the retaining wall with bitumen cement concrete (photo by the authors)*

Асфальтобетонные смеси с диспергированным битумом могут приготавливаться в смесителях принудительного и свободного перемешивания после оснащения их системой подачи воды в мешалку.

Для повышения эффективности новой технологии из технологической линии следует исключить сушильный барабан и связанное с ним топочное хозяйство, пылеуловительную установку. Из

технологического процесса исключаются операции по высушиванию и нагреву щебня и песка.

В зонах размещения разрушенных опор проводилась пропитка грунтового основания разжиженной битумной суспензией. После ее высыхания деформации проезжей части по сторонам моста существенно уменьшились. За счет пропитки было достигнуто равнопрочное состояние грунтовой среды вокруг опор моста.

Вместо создания слоя гидроизоляции для исключения поступления воды на элементы пролетного строения с поверхности покрытия через зазоры между плитами производился ремонт выбоин на мосту и в гравийном покрытии рядом с ним.



а



б

**Рисунок 7. Ремонт выбоин битумной суспензией (фото авторов)**  
**Figure 7. Depression repair with bituminous slurry (photo by the authors)**



Концентрированная битумная суспензия доставлялась со склада в мешках, выгружалась на покрытие, разжижалась водой из поливомоечной машины и перемешивалась с ПГС (рис. 7). Обработанная битумной суспензией смесь укладывалась в выбоину, увлажнялась и уплотнялась.

После ремонта выбоин на ездовом полотне малого моста устраивалось двухслойное покрытие из холодной влажной асфальтобетонной смеси типа Б с диспергированным битумом.

Гидрофобное двухслойное ездовое полотно из холодной влажной асфальтобетонной смеси на основе диспергированного вязкого битума отличается от типовой рецептуры асфальтобетонной смеси только наличием воды.

Для эксперимента был принят состав асфальтобетонной смеси, аналогичной той, которая приготавливалась по горячей технологии для планового объекта: гранулометрический состав соответствовал типу Б, содержащий 6,7 % известнякового минерального порошка, расход битума марки БНД 60/90 составлял 6 %.

Асфальтовая смесь приготавливалась в следующем порядке: щебень и песок с температурой 15°C подавались по существующей линии с отключенной форсункой сушильного барабана на весовой дозатор, а затем в мешалку.

Твердый эмульгатор в виде минерального порошка с температурой 15°C дозировался и подавался в мешалку, в которую при непрерывном перемешивании вводилась вода с температурой 14°C в количестве 8 % до получения смеси консистенции, похожей на цементобетонную смесь, затем подавался битум с температурой 155°C.

В процессе перемешивания за 20 с битума с увлажненной минеральной смесью битум распался на частицы сферической формы со средним диаметром около 1 мкм. Готовая асфальтовая смесь имела температуру 25°C, выгружалась в ковш скипового подъемника, а затем в автомобиль-самосвал и доставлялась к месту производства работ.

Технология создания двухслойного ездового полотна малого моста заключается в следующем.

Металлическая сетка укладывалась на подготовленное выпуклое основание на месте производства работ и в состоянии гибки с растяжением растягивалась посредством металлической арматуры.

На уложенную мостовую сетку высыпалась холодная влажная асфальтобетонная смесь с диспергированным вязким битумом и разравнивалась автогрейдером, после чего уплотнялась катком и, далее,



посредством асфальтоукладчика устраивался второй слой с последующим уплотнением.

Важно отметить, что в силу особенностей движения асфальтоукладчика невозможно устроить по данной технологии армированное преднапряженное ездовое полотно мостового сооружения в один слой.

Важно обеспечение растяжения мостовой сетки в первом слое, который может быть устроен посредством только автогрейдера, который осуществляет растяжение формообразуемой среды вперед (в отличие от асфальтоукладчика).

На основании лабораторных и производственных исследований разработаны технические требования к асфальтобетону с диспергированным битумом, представленные в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

**Технические требования к асфальтобетону с диспергированным битумом**  
**Technical requirements for asphalt concrete with loosened bitumen**

| Физико-механические свойства<br><i>Physical and mechanical properties</i>   | Показатели<br><i>Indicators</i> |
|---|---------------------------------|
| Водонасыщение, % по объему, не более / <i>Water saturation, % by volume, no more than</i>   | 9                               |
| Набухание, % по объему, не более / <i>Swelling, % by volume, no more than</i>   | 0,5                             |
| Предел прочности при сжатии, МПа / <i>Ultimate compressive strength, MPa</i>  |                                 |
| а) при температуре 20°C, не менее / <i>a) at a temperature of 20°C, not less</i>  | 2,0                             |
| всех типов / <i>all types</i>   |                                 |
| б) при температуре 50°C, не менее / <i>b) at a temperature of 50°C, no less</i>   |                                 |
| для типов / <i>for types</i>  |                                 |
| А / <i>A</i>  | 0,8                             |
| Б и В / <i>B and C</i>  | 0,9                             |
| Г и Д / <i>D and E</i>  | 1,0                             |
| Коэффициент водостойкости, не менее / <i>Water-resistance coefficient, no less than</i>   | 0,85                            |
| Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, не менее / <i>Water-resistance coefficient at long-term water saturation, not less than</i> | 0,7                             |

**Применение преднапряженной  
мостовой сетки в ездовом полотне малого моста**

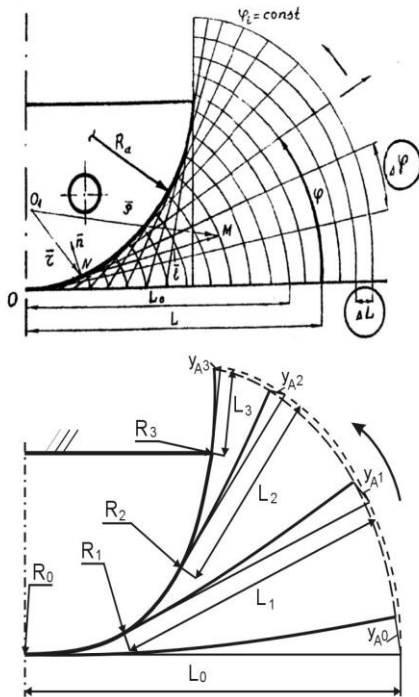
**The use of prestressed bridge mesh in the minor bridge floor**

В качестве концептуальной идеи применения преднапрягаемых металлических мостовых сеток для ремонта малых мостов предлагается принцип технологии авиастроения и судостроения — производство узлов и компонентов с учетом математической модели конечного изделия (самолета, ракеты, корабля) и их формообразования в приращениях перемещений, реализующих относительные технологические деформации.

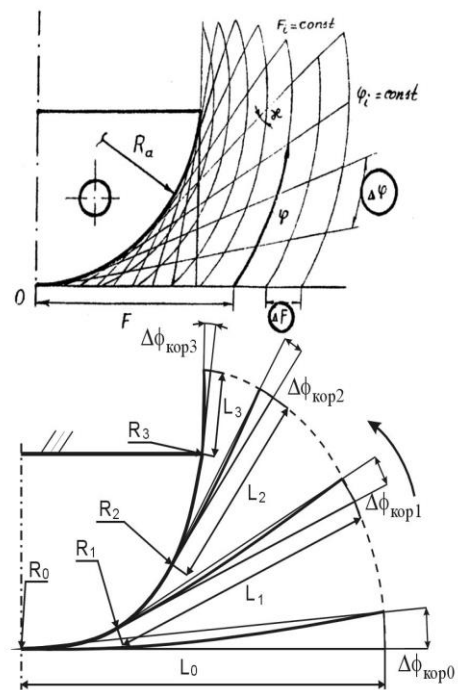
Программные траектории движения могут быть формализованы в различных системах координат, в частности, в декартовой  $(x, y)$  и в цилиндрической  $(r, \varphi)$  системах координат. Управление может осуществляться по программам изменения силовых параметров: сил и (или) моментов, такое управление следует считать силовым. Если в законах управления используются одновременно или последовательно программы изменения и координат и силовых параметров, то управление является комбинированным.

При координатном управлении желательно перейти к такой системе координат, чтобы одна их координат характеризовала только удлинение, а другая — только изгиб. Каждая из линий координатной сетки первого семейства строится, как эвольвента формообразующего контура (основания ездового полотна моста). Кинематическая модель при этом следующая: на профиле закреплен один конец нерастяжимой нити, перемещение второго конца нити дает эвольвенту. Семейство эвольвент получается, если задавать различную длину нити. Каждая из линий второго семейства представляет собой прямую — саму натянутую нить. В теории механизмов подобные геометрические образы используются в теории эвольвентного зацепления. Эвольвенты и эволюты зависят от профиля, для которого они строятся.

1. Управление по перемещениям



2. Управление по силам



**Рисунок 8.** Схемы формирования координатной сетки при гибке с растяжением при управлении по перемещениям и силам (рисунок авторов)

**Figure 8.** Coordinate grid shaping circuit during bending with tension under the control of displacements and forces (drawing by the authors)

На рисунке 8 изображены схемы формирования координатной сетки для гибки с растяжением, причем контуры выполнены в виде: на верхнем примере рисунок 8 — окружности с радиусом кривизны  $R_a$ , на нижнем примере рисунка 8 — нескольких участков окружностей с радиусом кривизны  $R, R_1, R_2, R_3$ .

Отметим некоторые особенности формирования координатной сетки для силовых операций. Основным базовым параметром является угол  $\varphi$  наклона касательной (в кинематической схеме — натянутой нити) в текущей точке схода профиля с контура. В свою очередь, линейный параметр координатной сетки (расстояние от точки схода с формообразующего контура до конца нити) является функцией текущего радиуса  $R$  кривизны контура, а также зависит от расстояния  $L_0$  от нулевой точки до конца нити при предварительном растяжении. Траектория движения конца нити, сматываемой с профиля, как раз является эвольвентой (разверткой) геометрии контура [16; 17].

Один и тот же контур пуансона имеет множество эвольвент, соответствующих различным значениям расстояния  $L_0$ . Траектория в виде эвольвенты пересекает касательные к контуру под прямым углом. Формируемая координатная сетка является параметрической по координатам угла и линейного перемещения.

Основная функция металлической мостовой сетки — работа на растяжение и изгиб для достижения приращений положительных эффектов: дополнительного приращения сопротивления нагрузки, приращения срока службы, приращения параметров устойчивости.

Поставленной задачей является обеспечение преднапряжения конструкции ездового полотна. Металлическая мостовая сетка, использованная для усиления основания ездового полотна моста, устроенного из щебеночного слоя, выполняет армирующую функцию и воспринимает растягивающие усилия, поэтому для них прочность на разрыв является наиболее важной характеристикой.

Особенностью применения металлической мостовой сетки является то, что если ее при монтаже не переводят в преднапряженное состояние для работы в верхней зоне упругих деформаций, то она может испытывать люфт и укрепленная поверхность начинает без механического взаимодействия испытывать накопление повреждений даже при обычных рабочих нагрузках. Однако преднапряжение расчетной силой не эффективно из-за вариации размерно-механических параметров сетки. Поэтому ее необходимо преднапрягать не расчетной силой, а путем выполнения расчетной относительной деформации в диапазоне 0,5–1,0 % относительного удлинения шва.

Способ монтажа мостовой сетки включает подготовку поверхности переменной кривизны, растяжение сетки до проектных размеров и крепление монтажными анкерами к поверхности основания земляного полотна по всему периметру, отличающегося тем, что растяжение осуществляется по приращениям перемещений на величину относительной деформации 0,1–2,0 %, а распределение сетки на поверхности производят путем пространственной гибки с растяжением, причем гибку с растяжением проводят по координатному или силовому замыканию, а после гибки с растяжением проводят калибровку путем дополнительного растяжения на величину относительной деформации сетки 0,1–1,0 %. При распределении конструкции геосетки на поверхности путем гибки с растяжением образуется равномерно распределенный по непрерывной поверхности сеточный каркас, предназначенный для фиксации наполнителя (грунт, песок, щебень и т. д.).

Рекомендуется расчет приращений прочностных свойств укрепляемой конструкции ездового полотна моста проводить в традиционных для технологий авиастроения приращениях относительных деформаций армирующего материала, как слабозависящих от влияния вариативности доминирующих факторов и параметров различной природы.

Такой подход для проектирования конструкций дорожного покрытия автомобильных дорог и мостовых сооружений по критерию относительных деформаций и применения преднапряженных силовых элементов по приращениям перемещений является новым. Это позволяет повысить площадь распределения нагрузки от колес транспортных средств, обеспечить равномерность прочностных свойств в продольном и поперечном направлении.

Важна также и глубина заложения силового элемента. С учетом того, что нейтральная линия растяжения располагается обычно на глубине около 4 см относительно поверхности дорожного покрытия эффективность применения металлической мостовой сетки будет достигнута, если она будет находиться на глубине 6 см.

Рекомендуемое относительное растяжение 1–2 % для проволочного элемента сетки.

Общий вид покрытия в процессе ремонта и после его завершения приведен на рисунке 9 (а и б). После уплотнения катком первого слоя посредством асфальтоукладчика устраивался второй слой холодной влажной асфальтобетонной смеси и уплотнялся катком. Движение было открыто сразу.

Геометрия ездового полотна была подобрана под безударный режим проезда существующего транспортного потока с учетом квадрата скорости



движения, высоты ездового полотна и суммы радиусов кривизны неровности и колеса транспортного средства.



а



б

*Рисунок 9. Общий вид ездового полотна моста в процессе ремонта и после его завершения (фото авторов)*

*Figure 9. General view of the bridge floor deck in the process of repair and after its completion (photo by the authors)*

## Обсуждение полученных результатов

### Discussion of the results

Ездовое полотно получилось гидрофобным. Осадки из-за присутствия диспергированного битума не могут проникнуть под асфальтобетонный слой, между тем вода, находящаяся под

асфальтобетонным слоем, в течение летнего месяца вышла через поры асфальтобетонного слоя посредством порового давления.

Через месяц после проведения аварийных ремонтных работ под действием высокой летней температуры и механической нагрузки от проезжающих транспортных средств произошли завершение консолидационных процессов, связанных с испарением воды, и переход диспергированного битума в пленочное состояние.

В пределе у холодной влажной асфальтобетонной смеси на основе диспергированного вязкого битума достигаются свойства обычных горячих асфальтобетонов.

Устройство ровного, прочного и водонепроницаемого покрытия позволяет свести до минимума динамические воздействия от проходящего транспорта, существенно замедляет разрушительные процессы в несущих элементах мостового сооружения.

Для повышения безопасности движения, снижения количества ДТП и их тяжести были установлены дорожные знаки (грузоподъемность, поворот, ограничение скорости движения и др.).

## Выводы

### Conclusions

1. Впервые проведен ремонт аварийного малого моста нестандартной конструкции путем пропитки грунтовой среды вокруг опор моста разжиженной битумной суспензией на глубину до 0,5 м, что позволило обеспечить ее равнопрочность.
2. При этом степень диспергирования для данного объекта за счет специфики приготовления битумной суспензии составила 1–10 мкм.
3. Новым является устройство гидрофобного двухслойного ездового полотна без слоя гидроизоляции из холодной влажной асфальтобетонной смеси на основе диспергированного вязкого битума.
4. Показана возможность применения битумоцементобетонных безусадочных смесей при ремонте каменной кладки мостового сооружения.
5. Геометрия ездового полотна была подобрана под безударный режим проезда существующего транспортного потока с учетом квадрата скорости движения, высоты ездового полотна и суммы радиусов кривизны неровности и колеса транспортного средства.

б. Новым результатом является устройство армирующей системы ездового полотна малого моста из холодного влажного асфальтобетона на основе преднапряжения гибкой с растяжением металлической мостовой сетки в приращениях перемещений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Раб, И.И.** Исследование влияния технологии приготовления смеси на основе битумных паст и условий их формирования на свойства холодных асфальтобетонов / И.И. Раб // Тр. СоюздорНИИ. — 1976. — № 87. — С. 63–69.
2. **Васильев, Ю.Э.** Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов / Ю.Э. Васильев, В.В. Каменев, В.Л. Шляфер, А.В. Кочетков // Качество. Инновации. Образование. — 2011. — № 5. — С. 46–51. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17233599> (дата обращения: 04.11.2021).
3. **Кокоева, Н.Е.** Методологические основы оценки технических рисков / Н.Е. Кокоева, В.В. Талалай, А.В. Кочетков, С.П. Аржанухина, Л.В. Янковский // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2012. — № 28. — С. 126–134. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18022428> (дата обращения: 04.11.2021).
4. **Андронов, С.Ю.** Технология производства холодного композиционного щебеночно-мастичного асфальта с дисперсным битумом / С.Ю. Андронов, Ю.А. Трофименко, А.В. Кочетков. — DOI <https://doi.org/10.15862/105TVN216> // Интернет-журнал «Науковедение». — 2016. — Т 8. — № 2. — С. 105TVN216. — URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/105TVN216.pdf> (дата обращения: 04.11.2021).
5. **Горнаев, Н.А.** Особенности механизма стабилизации битумных паст / Н.А. Горнаев, В.П. Калашников // Опыт инженерно-экономических исследований в строительстве / Саратов: СГТУ, 1978. — С. 23–27.
6. **Страчков, К.М.** Стабилизация битумных эмульсий на твердых эмульгаторах / К.М. Страчков, Н.А. Горнаев // Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб. / Саратов: СГТУ, 2004. — С. 164–167.
7. **Страчков, К.М.** О предельном содержании битума в битумных эмульсиях на твердых эмульгаторах / К.М. Страчков // Проблемы транспорта и транспортного строительства: межвуз. науч. сб. / Саратов: СГТУ, 2006. — С. 181–183.
8. **Кочетков, А.В.** Битумная суспензия на твердом эмульгаторе / А.В. Кочетков. — DOI <https://doi.org/10.15862/15SATS418> // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». — 2018. — Т 5. — № 4. — С. 15SATS418. — URL: <https://t-s.today/15SATS418.html> (дата обращения: 04.11.2021).
9. **Лысов, М.И.** Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки / М.И. Лысов. — М.: Машиностроение, 1966. — 236 с.
10. **Кочетков, А.В.** Изготовление сложнопрофильных деталей из титановых сплавов на технологических роботах гибки с растяжением / А.В. Кочетков // Титан. — 2012. — № 4. — С. 32–36. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20658623> (дата обращения: 23.11.2021).
11. **Cheng, Y.** Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze — Thaw Cycles / Y. Cheng, D. Yu, G. Tan, C. Zhu. — DOI <https://doi.org/10.3390/ma11112148> // Materials. — 2018. — Т 11. — № 11. — URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/11/11/2148> (дата обращения: 23.11.2021).
12. **Celauro, C.** Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses / C. Celauro, F.G. Praticò. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058> // Construction and Building Materials. — 2018. — Т 170. — С. 245–253. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818305415> (дата обращения: 23.11.2021).



13. **Gong, Y.** Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology / Gong Y., Bi H., Liang C., Wang S. — DOI <https://doi.org/10.3390/app8112191> // Applied Sciences. — 2018. — Т 8. — № 11. — URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/11/2191> (дата обращения: 23.11.2021).
14. **Qin, X.** Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers / X. Qin, A. Shen, Y. Guo, Z. Li, Z. Lv. — DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012> // Construction and Building Materials. — 2018. — Т 159. С. 508–516. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817322225> (дата обращения: 23.11.2021).
15. **Gong, Y.** Pavement Performance Investigation of Nano-TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze — Thaw Cycles / Y. Gong, H. Bi, Z. Tian, G. Tan. — DOI <https://doi.org/10.3390/app8122581> // Applied Sciences. — 2018. — Т 8. — № 12. — URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/12/2581> (дата обращения: 23.11.2021).

#### 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](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=179080)

**Каменских Александр Николаевич**<sup>1</sup> — заместитель генерального директора, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия, e-mail: kamenskih@rosdornii.ru

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

**Шашков Игорь Геннадиевич** — кандидат технических наук, старший преподаватель, ФГКВБОУ ВО «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Воронеж, Россия, e-mail: igoshashkov@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0148-4062>

Статья получена: 25.12.2021. Принята к публикации: 06.06.2022. Опубликовано онлайн: 28.06.2022.

## REFERENCES

1. Rab I.I. Issledovaniye vliyaniya tekhnologii prigotovleniya smesi na osnove bitumnykh past i usloviy ikh formirovaniya na svoystva kholodnykh asfal'tobetonov [Investigation of the influence of technology for preparing a mixture based on bituminous pastes and the conditions for their formation on the properties of cold asphalt concrete]. *Trudy SoyuzdorNII [Proceedings of SoyuzdorNII]*. 1976; (87): 63–69. (In Russ.).
2. Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V., Shliafer V.L., Kochetkov A.V. Statistical Methods Organization Quality Assurance by Manufacture Road-Building Materials. *Quality. Innovation. Education*. 2011; (5): 46–51. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17233599> (accessed 04th November 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
3. Kokodeeva N.E., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Arzhanukhina S.P., Yankovskiy L.V. Methodological Foundation of Technical Risks Estimation. *Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering Series: Civil Engineering and Architecture*. 2012; (28): 126–134. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18022428> (accessed 04th November 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
4. Andronov S.Y., Trofimenko Y.A., Kochetkov A.V. The production technology of cold composite crushed-stone and mastic asphalt with disperse bitumen. *Naukovedenie*. 2016; 8(2): 105TVN216. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/105TVN216>.

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



5. Gornayev N.A., Kalashnikov V.P. Osobennosti mekhanizma stabilizatsii bitumnykh past [Features of the mechanism for stabilizing bituminous pastes]. In: *Opyt inzhenerno-ekonomicheskikh issledovaniy v stroitel'stve [Experience in engineering and economic research in construction]*. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 1978. p. 23–27. Available at: (accessed). (In Russ.).
6. Strachkov K.M., Gornayev N.A. Stabilizatsiya bitumnykh emul'siy na tverdykh emul'gatorakh [Stabilization of bituminous emulsions on solid emulsifiers]. In: *Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: mezhvuzovskiy nauchnyy sbornik [Problems of transport and transport construction: interuniversity scientific collection]*. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 2004. p. 164–167. Available at: (accessed). (In Russ.).
7. Strachkov K.M. O predel'nom soderzhanii bituma v bitumnykh emul'siyakh na tverdykh emul'gatorakh [On the limiting content of bitumen in bitumen emulsions on solid emulsifiers]. In: *Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva : mezhvuzovskiy nauchnyy sbornik [Problems of transport and transport construction: interuniversity scientific collection]*. Saratov: Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; 2006. p. 181–183. Available at: (accessed). (In Russ.).
8. Kochetkov A.V. Bituminous suspension of solid emulsifier. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2018; 5(4): 15SATS418. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.15862/15SATS418>.
9. Lysov M.I. Teoriya i raschet protsessov izgotovleniya detaley metodami gibki [Theory and calculation of the processes of manufacturing parts by bending methods]. Moscow: Mashinostroyeniye; 1966. (In Russ.).
10. Kochetkov A.V. Manufacturing of Figurine-Shaped Parts from Titanium Alloys by Technological Robots of Bending with Stretching. *Titan*. 2012; (4): 32–36. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20658623> (accessed 23rd November 2021). (In Russ., abstract in Eng.).
11. Cheng Y., Yu D., Tan G., Zhu C. Low-Temperature Performance and Damage Constitutive Model of Eco-Friendly Basalt Fiber-Diatomite-Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles. *Materials*. 2018;11(11): (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/ma11112148>.
12. Celauro C., Praticò F.G. Asphalt mixtures modified with basalt fibres for surface courses. *Construction and Building Materials*. 2018; 170: 245–253. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.058>.
13. 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): (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/app8112191>.
14. Qin X., Shen A., Guo Y., Li Z., Lv Z. Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers. *Construction and Building Materials*. 2018; 159: 508–516. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012>.
15. Gong Y., Bi H., Tian Z., Tan G. Pavement Performance Investigation of Nano-TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> and Basalt Fiber Composite Modified Asphalt Mixture under Freeze-Thaw Cycles. *Applied Sciences*. 2018; 8(12): (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3390/app8122581>.

---

**Information about the authors:**

**Andrey V. Kochetkov** — Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia,

e-mail: [soni.81@mail.ru](mailto:soni.81@mail.ru)

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

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=179080](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=179080)

**Alexander N. Kamenskikh** — Federal Autonomous Institution «ROSDORNII», Moscow, Russia,

e-mail: [kamenskikh@rosdornii.ru](mailto:kamenskikh@rosdornii.ru)

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

**Igor G. Shashkov** — «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Voronezh, Russia, e-mail: [igoshashkov@yandex.ru](mailto:igoshashkov@yandex.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0148-4062>

---

Submitted: 25th December 2021. Revised: 6th June 2022. Published online: 28th June 2022.