РЕМОНТ И СОДЕРЖАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Научная статья

УДК 624.21(470.61)
EDN: XFKJHS

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ МЕР ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Михаил Алексеевич Агафонов[1]✉
Владимир Иванович Неделькин[2]

[1]ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия
[2]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия
[1]AgafonovMA@rosdornii.ru✉

Аннотация: *В статье приводится ретроспективный анализ технических приоритетов развития технологий и материалов для устройства, ремонта и содержания температурных швов цементобетонных покрытий. На основе рассмотрения решений проблемных вопросов выделены актуальные задачи в области обеспечения долговечности герметизации деформационных швов аэродромных покрытий*.

Ключевые слова: *цементобетонные покрытия, мониторинг технического состояния аэродромов, продление срока службы швов, причины разгерметизации, совершенствование рецептуры герметиков, геометрические параметры температурных швов*.

Для цитирования: Агафонов М.А., Неделькин И.В. Ретроспективный анализ мер по обеспечению долговечности герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий // Дороги и мосты. 2024. № 52/2. С. 189-212.

ROAD REPAIR AND MAINTENANCE

Original article

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF MEASURES TO ENSURE DURABILITY OF SEALING OF EXPANSION JOINTS OF CEMENT CONCRETE PAVEMENTS

Mikhail A. Agafonov[1]✉
Vladimir I. Nedelkin[2]

[1]FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia
[2]Moscow Automobile State Technical University (MADI), Moscow, Russia
[1]AgafonovMA@rosdornii.ru✉

***Abstract**: The article presents a retrospective analysis of technical priorities of development of technologies and materials for the construction repair and maintenance of expansion joints of cement concrete pavements. On the basis of the consideration of resolving problematic issues the urgent tasks in the field of ensuring the durability of sealing of expansion joints of aerodrome pavements are highlighted.*

***Keywords**: cement concrete pavements, monitoring of aerodrome technical condition, joints service life extension, causes of unsealing, improvement of sealant formulation, geometrical parameters of temperature joints.*

For citation: Agafonov M.A. Nedelkin V.I. Retrospective analysis of measures to ensure durability of sealing of expansion joints of cement concrete pavements // Roads and Bridges. 2024; (52/2): 189-212. (In Russ.)

ВВЕДЕНИЕ

Деформационные швы всегда считались самым уязвимым местом жестких аэродромных покрытий. Адгезионные или когезионные разрушения шовной конструкции приводят к переувлажнению нижних слоев аэродромных покрытий, разуплотнению основания, просадкам, трещинам и сколам кромок плит.

Специалисты утверждают, что аэродромные покрытия настолько хороши, насколько надежны их швы. Исторически сложилось так, что ученые и инженеры дорожного и аэродромного строительства постоянно совершенствовали как конструкцию деформационных швов, так и герметизирующий материал.

Устройство поперечных и продольных швов, а также применяемые для герметизации материалы, описаны в источниках научно-технической литературы уже начиная с 40-50-х годов прошлого столетия **[1-4]**. Опираясь на труды В.К. Некрасова, Н.Н. Иванова, Л.А. Белявского, В.А. Бочина, Н.В. Орнатского, Г.И. Глушкова, Л.И. Горецкого, В.Ф. Бабкова, А.С. Смирнова и др., а также на результаты современных исследований и стандартизации, можно выполнить ретроспективный анализ технических приоритетов развития технологий и материалов для устройства, ремонта и содержания температурных (деформационных) швов жестких (цементобетонных) покрытий. На основе рассмотрения решений проблемных вопросов представляется важным выделить актуальные задачи в области обеспечения долговечности герметизации швов и трещин.

Материалы и методы исследования

Методология представленного в данной статье научного исследования заключается в анализе опубликованных трудов по разрабатываемой тематике, определении причинно-следственных связей в обеспечении долговечности внедренных технических решений, изучении полученных положительных результатов и выявленных недостатков реализованных строительных проектов.

Технические решения периода индустриализации СССР

Активное строительство жестких дорожных покрытий, а затем и аэродромных покрытий наряду с разработкой конструкций их швов началось сравнительно недавно. Так, в СССР в 1935 г. имелись только опытные участки бетонных дорог длиной 18 км **[1]**. В работе **[2]** приводятся примеры устройства деформационных швов жестких покрытий того времени (**рис. 1**). Кромки швов расширения защищались железными уголками 5-20 мм, а в нижней части ложных швов сжатия предусматривался железный лист на ½ - ¾

толщины плиты для ослабления сечения, вследствие чего при возникновении растягивающих напряжений происходило растрескивание плит по линии шва. Заполнение швов расширения осуществлялось битумом с мелким песком, иногда в них закладывались листы промасленного картона или войлока.

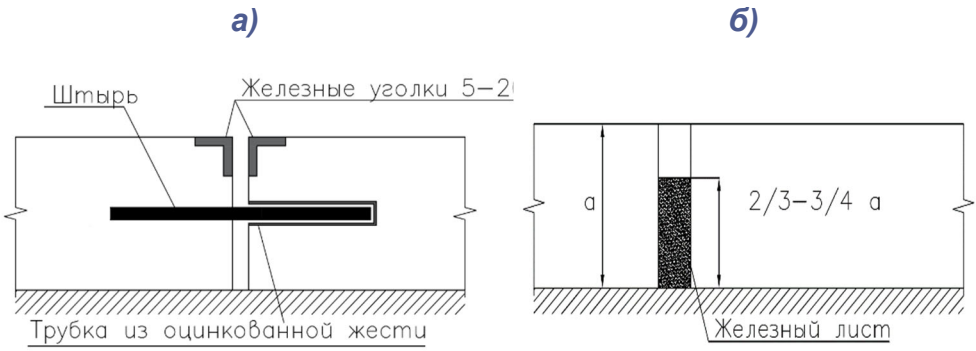

Рис. 1. Конструкции деформационных швов:
а) шов расширения со штыревым армированием;
б) ложный шов сжатия

Следует отметить, что расход металла при реализации указанных технических решений был очень высоким. При этом эффективная герметизация ложных швов сжатия, возникших в результате самопроизвольного трещинообразования, с помощью имевшихся в то время машин и механизмов, представлялась крайне затруднительной. Вместе с тем, защита кромок плит от скалывания и от возможной последующей разгерметизации швов в настоящее время решена конструктивно – снятием фаски под углом 45º и размером по 5 мм по граням кромки швов, а герметизация осуществляется до уровня фаски. Таким образом, предотвращаются сколы кромок и непосредственный контакт пневматика колеса с герметиком, обеспечивая долговечность гидроизоляции швов.

В работе 1948 г. **[3]** указано, что при заполнении швов «недостатком большинства способов является малая упругость заполняющей массы. При уменьшении ширины шва масса выдавливается из шва, образуя бугры на поверхности; при новом увеличении ширины в плохую погоду шов оказывается незаполненным, может забиваться пылью и грязью…». В **[3]** также сообщается о

ранее применявшихся технических решениях устройства швов: заранее сформированные прокладки из битумизированного войлока или других волокнистых материалов и смеси битума с минеральным порошком (соотношение 1:1 до 1:1,25), укладываемые в швы в горячем виде. При этом верхняя часть шва для удобства расширялась, как показано на **рис. 2**.

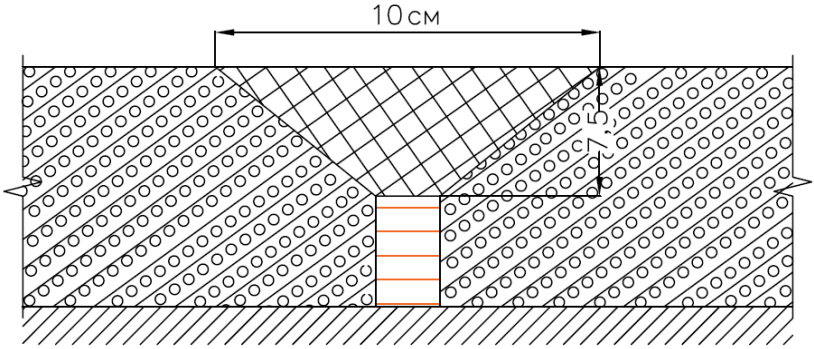

Рис. 2. Оформление шва в верхней части в соответствии с [3]

Безусловно, разрушение заполнителя такого шва сразу же начиналось с тонкого слоя в краевых зонах раструба, а также из-за 10-сантиметрового контакта с колесами транспорта заполнитель шва мог прилипать к резине и полностью выдергиваться из паза. Нижняя часть шва из войлока не обладает свойствами упруго воспринимать деформации и после сжатия уже не возвращается в исходное положение, не заполняя все межплитное пространство и переставая служить опорой для заполнителя.

Позднее стали применять другие материалы: пробку, пористую резину, битумированные смеси с добавкой латекса, отходы от переработки хлопка, опилки, древесную массу, доски из дерева мягких пород.

Технологии устройства деформационных швов периода активного строительства опорной аэродромной сети

В справочнике 1963 г. **[4]** представлены деформационные швы сжатия и расширения, которые устраивались в аэродромных и дорожных покрытиях и соответствовали уровню развития инженерной науки в тот период **(рис. 3, 4)**.

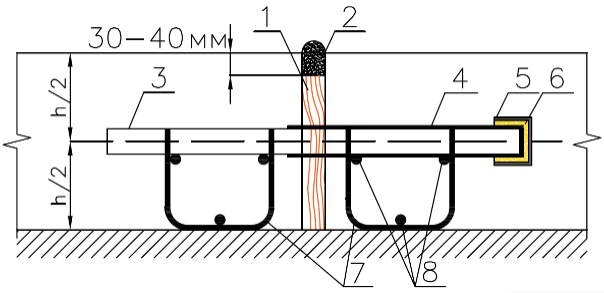

Рис. 3. Конструкция шва расширения:
1 – деревянная прокладка; 2 – битумная мастика;
3 – штырь; 4 – битумная обхватка; 5 – колпачок;
6 – зазор, заполненный паклей; 7 – хомуты корзинки, поддерживающей штыри; 8 – поперечные стенки корзинки

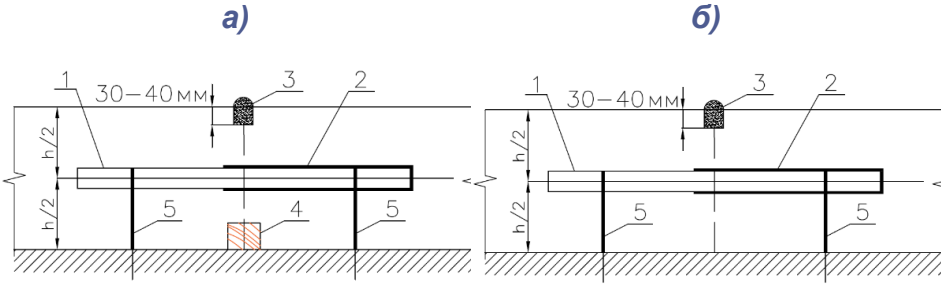

Рис. 4. Конструкция продольного и поперечного шва сжатия:
а) поперечный; б) продольный;
1 – штырь; 2 – битумная обмазка; 3 – прорезь, заполненная мастикой; 4 – деревянный брусок;
5 – шпильки для установки штыря перед бетонированием покрытия

Верхнюю часть швов заполняли материалом, который должен был обеспечить водонепроницаемость швов при их сжатии и расширении при колебании температуры и влажности окружающего воздуха **[4]**. В качестве заполняющего материала применяли битумные мастики, состав которых приводится в **табл. 1**.

Таблица 1

Составы битумной мастики для заполнения деформационных швов

Материалы, входящие в состав мастики	Ширина заполняемых швов, мм					
	10-25			3-8		
	Климатические зоны					
	II		III-IV	II		III-IV
	Температура размягчения, °С					
	60-65	65-75	75-85	55	58	65
Битум БН-II (ГОСТ 1544-52), % по весу	60	60	60	80	70	50
Минеральный порошок (ГОСТ 9128), % по весу	25	25	20	10	25	35
Асбестовая крошка крупностью не более 2 мм, % по весу	10	15	20	10	-	10
Резиновая крошка крупностью не более 2 мм, % по весу	5	-	-	-	5	5

В этот период критериями подбора мастик являлись ширина заполняемых швов/трещин и температурный интервал эксплуатации покрытий. В расчет ширины швов закладывались вычисляе-

мые перемещения кромок при максимальных отрицательных температурах в районе строительства. В зависимости от этих параметров назначался процент содержания входящих в состав мастики материалов, таким образом регулировались вязкость и проникающая способность композиции.

При заливке швов и трещин мастикой сложно было соблюдать технологические требования по сохранению её оптимальной температуры – не ниже 170º С и не выше 220 ºС, не допуская остывания, с непрерывным перемешиванием в котле, где она разогревалась, а также в ведрах и лейках, с помощью которых осуществлялся процесс заливки **[5]**. Котлы на дровах, где плавилась мастика, не обладали системами контроля температуры, у стенок в непосредственной близости к огню мастика пережигалась, в середине и в верхней части емкости из-за низкой вязкости и теплопроводности мастика медленно плавилась и разогревалась до нужной температуры. В связи с этим, происходило старение вяжущего и ухудшение его исходных показателей (низкотемпературных, высокотемпературных, адгезионных и др.) уже на этапе строительства.

Применение полимерных герметиков для заполнения швов жестких покрытий рассмотрено в **[6]**. По мнению авторов, эти материалы обладают хорошей адгезией с бетоном, не выдавливаются из шва и восстанавливаются после подвижки плит при температурных деформациях. Кроме того, в **[6]** в качестве герметиков рекомендуются к применению резинобитумное вяжущее (РБВ), мастики ИЗОЛ и М-1.

РБВ представляет собой однородную массу, изготавливаемую из крошки старой резины, битума, кумароновой смолы и пластифицирующих добавок – полиизобутилена и нефтяного масла АК-15. Состав резинобитумного вяжущего включает следующие компоненты: резиновую крошку – 20 %, битум БНК-4 – 63 %, кумароновую смолу – 5 %, полиизобутилен П-200 – 5 %, масло ДК-15 – 7 %.

Состав мастик «Изол» марки И-1 и И-2, а также мастики М-1 приведен в **табл. 2**.

Резиновая крошка должна быть не крупнее 2 мм. Тугоплавкий сплав представляет собой смесь шугуровского битума и садкинского асфальта. Температура размягчения такого сплава (по прибору «кольцо и шар») составляет 105-120°С.

Таблица 2

Состав мастик Изол -1, Изол-2, М-1

Марка мастики	Материалы, входящие в состав мастик, % по массе						
	Резиновая крошка	Битум	Тугоплавкий сплав	Кумароновая смола	Канифоль	Асбест 1-го сорта	Песок мелкий
Изол-I	19,0	60,0	-	4,0	2,0	15,0	-
Изол-II	20,0	75,0	-	5,0	-	-	-
М-1	-	24,0	56	-	-	6,0	14

Специальных материалов для герметизации мелких трещин (до 2 мм) промышленным способом не производилось. В монографии **[7]** подробно описаны способы ремонта того времени. После очистки и продувки сжатым воздухом на одиночные трещины краскопультом или кистями наносили 40-50 % раствор битума БНД-60/90 в бензине (до 3 раз). Если на поверхности плит имелись участки с сеткой трещин, то раствор наносили по всей их площади.

Трещины большей ширины сначала расширяли при помощи электроперфоратора или зубила до прямоугольного сечения шириной не более 8-10 мм, глубиной 30-35 мм и продували сжатым воздухом. Затем за 2 прохода обрабатывали 50 %-ным раствором битума БНД-60/90 в бензине. После высыхания трещины заливались вровень с поверхностью битумной мастикой «Изол» или М-1 при помощи заливщика швов или леек. Мастику, пролитую на кромки плит, необходимо было после остывания срезать нагретой лопатой.

Аналогичным образом осуществлялся и ремонт швов при их разгерметизации. После очистки и просушки камеру шва обрабатывали по описанной выше технологии самодельным праймером (раствором битума в бензине) и заливали мастикой указанных выше марок.

Как правило, такой ремонт покрытия был недолговечен. Одна из причин разгерметизации швов и трещин, как было описано выше, это возможность прямого контакта шовной массы с пневматиками самолетов, особенно, при торможении. Кроме того, несовершенными оставались состав и технология применения герметиков.

Состав мастик, праймеров и технологии их приготовления и применения, соответствующие техническому уровню 90-х годов XX века, подробным образом изложены в **[8-12]**. Так, в частности, рекомендации ФАУ «РОСДОРНИИ» **[8]**, разработанные для ремонта деформационных швов малых и средних мостов, имеющих пролетные строения до 24 м, основываются на многочисленных обследованиях автодорожных мостов и путепроводов. Опыт ФАУ «РОСДОРНИИ» показывает, что деформационные швы, заполненные применявшимися в то время мастиками, теряют герметичность через 1-2 года, затем происходит их разрушение. Согласно данным рекомендациям, производство ремонта швов возможно при температуре до минус 45 ºС. Что касается регионов с более суровыми климатическими условиями, соответствующие указания не были проработаны.

Мастика не должна терять адгезионные и когезионные свойства и становится хрупкой при максимально низких температурах, когда плиты уменьшаются в размерах и швы сжатия и трещины расширяются. Для надежной герметизации также важны ее высокотемпературные свойства – сохранение вязко-пластичности при повышенных летних температурах.

Операция по обеспыливанию и подгрунтовке камеры швов должна выполняться специальными праймерами, а не растворами битума в керосине или бензине, так как растворитель на контакте покрытие-мастика ослабляет адгезию, а полимерные праймеры увеличивают адгезионную прочность за счет клеящих свойств.

Несмотря на то, что в научном плане были получены результаты, представляющие достаточный интерес, на практике продолжали использовать (вплоть до середины 90-х годов прошлого столетия) традиционные методы ремонта **[7]**. Ремонт сводился к периодической заливке деформационных швов и трещин битумными мастиками, состоящими из битумного вяжущего (строительного, кровельного, дорожного), модификатора (резиновой крошки), пластификатора (индустриальное или машинное масло) и наполнителя (асбест или минеральный порошок).

Вопрос применения резиновой крошки в качестве модификатора в то время не был глубоко изучен. В **[5-8]** указывается лишь требование по предельной крупности крошки. Не было установлено влияние на качество герметика типа и состава резины, а также степени и способа ее измельчения.

Мастика на основе РБВ имела ряд существенных недостатков и не отвечала требованиям в области дорожного и аэродромного строительства. Резинобитумные герметики при температуре окружающего воздуха ниже минус 20°С становились хрупкими, не обеспечивали герметичность, выкрашивались из швов покрытия.

Технические решения для ремонта и продления ресурса эксплуатируемых аэродромных покрытий

Опорная аэродромная сеть Российской Федерации формировалась в 60-е годы XX века. В связи с увеличением продолжительности эксплуатации аэродромных покрытий, появлением более тяжелых самолетов, имевшимися бюджетными ограничениями, появилась необходимость разработки технологий ремонта и продления ресурса эксплуатируемых аэродромных покрытий.

С середины 90-х годов специалисты начали разработку более качественных герметиков горячего применения на основе полимербитумных композиций, придающих герметику высокие физико-механические свойства.

Вместе с тем, отсутствие нормативных требований к уровню контролируемых параметров в тот период было серьезным тормозом обеспечения качества и долговечности шовных конструкций, невозможно было сопоставить продукцию разных производителей, отсутствовали стандартные методы испытаний.

Первый документ по стандартизации, в котором были изложены классификация и основные требования к аэродромным герметикам, был разработан в 2000 г. – это межгосударственный стандарт ГОСТ 30740-2000 «Материалы герметизирующие для швов аэродромных покрытий. Общие технические условия»[1]. За прошедшее время проектными и научными организациями, аэродромными службами, производителями материалов для герметизации швов накоплен обширный опыт применения герметизирующих материалов, изучения проблемных вопросов обеспечения долговечности швов на стадии строительства, ремонта и содержания **[13-18]**, совершенствования подбора материалов и конструирования швов, технологий восстановления их работоспособности

[1] ГОСТ 30740-2000. Материалы герметизирующие для швов аэродромных покрытий. Общие технические условия: государственный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие постановлением Госстроя России от 4 июля 2001 г. № 67 : введен впервые : дата введения 2002-01-01. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 78 с.

[19-20], а также в развитии методов диагностики и лабораторных испытаний **[21-23]**.

Таким образом, развитие аэродромных технологий требует обновления устаревших положений ГОСТ 30740.

Следует отметить, что на настоящем этапе изменился состав герметиков, при этом их свойства определяются для каждого отдельно взятого объекта и диапазона температур, применяя полимеры для их модификации, выполняя испытания в лабораториях, оснащенных современной аппаратурой **[24-27]**.

Расширилось применение резиновой крошки, ее поверхность подвергается химической модификации **[28-30]**, выработаны типы модифицирующих составов, определены оптимальные дозировки и размеры крошки. Проведение исследований стимулируется государством в рамках Федерального проекта «Экономика замкнутого цикла».

Применяются усиливающие адгезию полимерные грунтовки. Проектируются специальные шовные конструкции со строго расчетной геометрией камеры шва. Для чистки и сушки подготовленных швов и трещин применяются специально сконструированные щеточные машины, аппараты для продувки горячим воздухом. Для герметизации используются котлы-заливщики. Они предназначаются для безопасного разогрева, перемешивания и подачи под давлением всех видов мастик для герметизации трещин и швов. Такие котлы оборудованы двойными стенками, где находится теплоноситель, температура которого контролируется автоматически. Герметик подается непосредственно в битумную камеру шва через термошланги по специальному приспособлению в форме удочки. Имеются самоходные котлы с гидравлическим приводом или в прицепном исполнении на двухосном шасси.

На **рис. 5** представлена эволюция состава герметиков для заполнения швов и трещин.

Рис. 5. Эволюция состава герметиков для заполнения швов и трещин

В целях управления качеством аэродромных покрытий, продления эксплуатационного ресурса и обеспечения безопасности полетов, совершенствовалась работа по мониторингу технического состояния аэродромов [**7, 21, 23, 31**]. Вместе с тем, в действующих нормативных документах отсутствовала регламентация технологически правильного применения новых материалов и технологий, что обусловило актуальность развития и доработки многих вопросов по стандартизации процессов поддержания эксплуатационной годности аэродромов гражданской авиации, в том числе технологий применения современных герметиков.

Приказами Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) с 15 мая 2024 г. впервые были введены в действие национальные стандарты в области восстановления работоспособности аэродромных покрытий ГОСТ Р 71271-2024[2] и ГОСТ Р 71273-2024[3], в которых закреплены типовые конструкции деформационных швов (**рис. 6-7**).

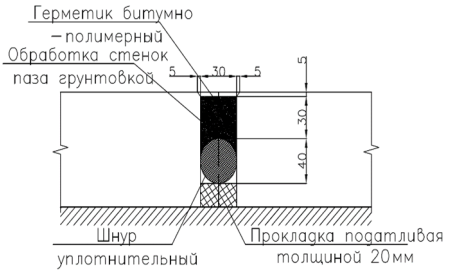

Рис. 6. Шов расширения

[2] ГОСТ Р 71271-2024. Аэродромы гражданские. Покрытия аэродромные цементобетонные. Восстановление работоспособности. Указания по консервации трещин: нац. стандарт Российской Федерации: утвержден и введен в действие приказом Фед. агенства по техн. регулированию и метрологии от 10 апреля 2024 г. № 435-ст: введен впервые: дата введения 2024-05-15. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 40 с.

[3] ГОСТ Р 71273-2024. Аэродромы гражданские. Покрытия аэродромные цементобетонные. Восстановление работоспособности. Указания по ремонту деформационных швов: утвержден и введен в действие приказом Фед. агенства по техн. регулированию и метрологии от 10 апреля 2024 г. № 437-ст: введен впервые: дата введения 2024-05-15. – М.: Российский институт стандартизации, 2024. – 20 с.

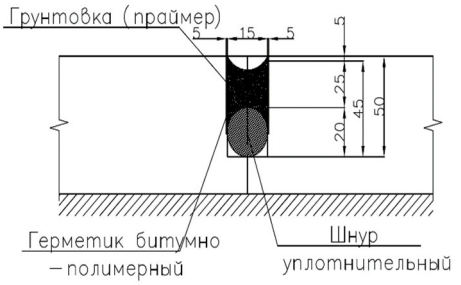

Рис. 7. Шов сжатия

Оптимизация проектирования параметров швов

Срок службы шовной конструкции в том числе связан с решениями, принимающимися на этапе проектирования. Необходимо обеспечить, чтобы:

$$\varepsilon_{пр} \leq \varepsilon_{расч} \ , \qquad \textbf{(1)}$$

где

$\varepsilon_{пр}$ и $\varepsilon_{расч}$ – соответственно предельное и расчетное относительное удлинение герметика.

Таким образом, правильное назначение ширины швов при проектировании влияет на долговечность их герметизации. Функция цели при проектировании может быть представлена в виде:

$$W_0=f(L_{пл};\ \delta T;\ \lambda_{пл};\ \varepsilon_{расч}) \ , \qquad \textbf{(2)}$$

где

W_0 – ширина паза шва;

$L_{пл}$ – длина плиты (блока плит);

δT – перепад температур;

$\lambda_{пл}$ – коэффициент линейной температурной деформации бетона;

$\varepsilon_{расч}$ – относительное удлинение герметика при t = -20ºС.

В **[14, 15]** приводятся номограммы для определения минимально необходимой ширины паза шва. Исходными данными для построения номограмм являются параметры целевой функции **(2)**.

Проектными организациями используется также следующая формула:

$$W_0 = 100 \times \lambda_{пл} \frac{L_{пл} \times \delta T}{\varepsilon_{расч}} \quad . \qquad (3)$$

Глубина камеры шва (*D*) определяется исходя из того, что в ней должны разместится герметизирующая мастика и уплотнительный шнур в запрессованном состоянии, диаметр которого превышает в 1,2 ÷ 1,5 раза ширину шва. Кроме того, учитывается размер фаски (**рис. 6, 7**).

Величина напряжений в герметике на стенках камеры шва связана не только с размерами шва, но и с соотношением D/W_0. В соответствии с графиком **(рис. 8)**, полученном на основе экспериментальных данных институтом бетона США **[33]**, чем больше это соотношение, тем больше и напряжения герметика на стенках шва.

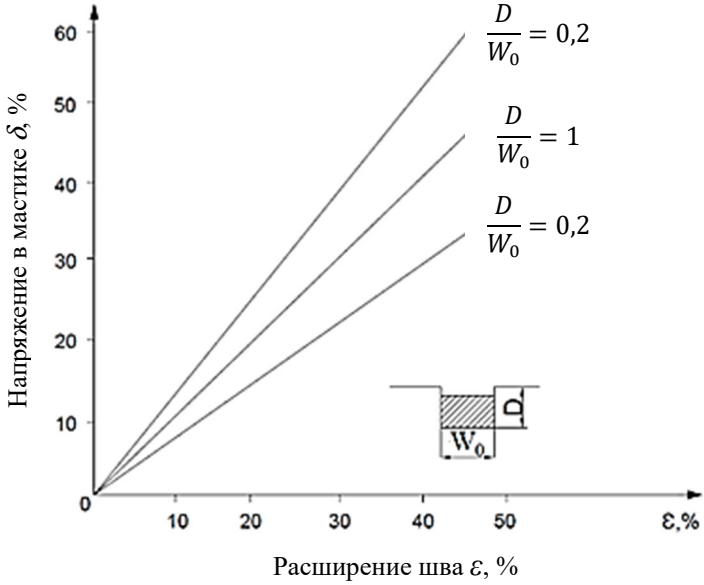

Рис. 8. Зависимость напряжений в герметике от температурного расширения шва сжатия

Предельное значение для соотношения D/W_0 в странах Европейского союза составляет 2,5 **[34]**, для гражданских аэродромов в Российской Федерации в соответствии с ГОСТ Р 71273-2024,

для швов расширения это соотношение равно 1, а для швов сжатия – D:W_0 = 2.

Для расчета аэродромных и дорожных покрытий широко применяется компьютерное моделирование с использованием метода конечных элементов (МКЭ) **[35]**. Математический расчет изменения напряжений в зависимости от геометрии камеры шва, проведенный с использованием МКЭ для W_0:D = 1:1,5 (D/W_0 = 0,66) и W_0:D = 1:4 (D/W_0 = 4), представлен на **рис. 9**. По расчетным значениям напряжений, полученным с помощью параметрической конечно-элементной модели конструкции шва жесткого аэродромного покрытия, хорошо визуализируется разница в величине этого параметра на границе контакта для вариантов ***(а)*** и ***(б)***.

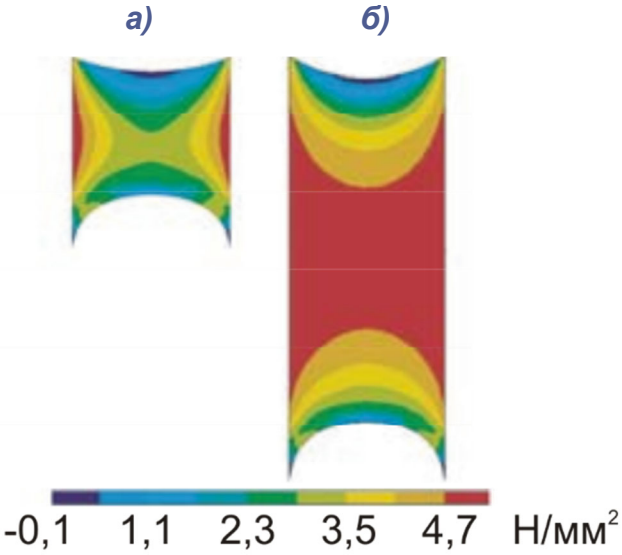

Рис. 9. Напряженно-деформированное состояние герметика в швах в зависимости от геометрии камеры шва:
а) W_0:D = 1:1,5; б) W_0:D = 1:4

В связи с эксплуатацией цементобетонных покрытий с предельными сроками службы первостепенную важность приобретает решение задач по совершенствованию рецептуры герметизирующих материалов, праймеров и технологий их применения, а также проблем, касающихся оценки остаточного ресурса шовных конструкций, приборной базы для полевых измерений контролируемых параметров качества и долговечности герметиков.

ВЫВОДЫ

Анализ опубликованных трудов по обеспечению долговечности герметизации деформационных швов и трещин цементобетонных аэродромных покрытий позволяет сделать следующие выводы:

1. Самыми распространенными дефектами аэродромных покрытий по-прежнему являются трещины и нарушение герметизации швов, а наиболее востребованным материалом для их ремонта является битумно-полимерный герметик.
2. Обеспечение долговечности герметизации швов связано с совершенствованием рецептуры герметика, правильностью проектного решения шовной конструкции и надлежащим подбором типа герметика по критериям, касающимся температурных показателей места расположения аэродрома и конструктивными параметрами покрытия.
3. Требуется актуализация положений ГОСТ 30740-2000, с учетом накопленного опыта его применения, возросших эксплуатационных требований, а также для более достоверной корреляции требований стандарта с практическими результатами применения герметиков, уровнем развития науки и возможностями современных лабораторий.
4. В целях увеличения межремонтных сроков цементобетонных (жестких) аэродромных покрытий и обеспечения безопасности полетов необходимо осуществлять своевременные и качественные ремонтные мероприятия по восстановлению работоспособности конструкции деформационных швов.

Агафонов М.А., Неделькин В.И., 2024

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Справочник инженера-дорожника для инженеров и техников дорожного дела: изыскания и проектирование автогужевых дорог / ред. А. И. Анохин. – Ленинград: Государственное транспортное издательство, 1935. – 685 с.*
2. *Некрасов В.К. Городское дорожное строительство / В.К. Некрасов – М.: Гострансиздат, 1935. – 350 с.*

3. *Иванов Н.Н. Строительство автомобильных дорог / Н.Н. Иванов. – М.: Дориздат, 1948. – 229 с.*
4. *Справочник инженера-дорожника. Строительство автомобильных дорог / [авт.-сост. В.А. Бочин и др.; гл. ред. Н. В. Орнатский]. – М.: Автотрансиздат, 1963. – 776 с.*
5. *Виноградов А.П. // Продление эксплуатационного ресурса покрытий автомобильных дорог и аэродромов/ А.П. Виноградов и др. / Ирмаст-Холдинг. – М., 2001. – 170 с.*
6. *Изыскания и проектирование аэродромов: [Учеб. по спец. «Стр-во автомоб. дорог и аэродромов» / Г.И. Глушков, А.С. Смирнов, В.Ф. Бабков и др.]; под ред. Г. И. Глушкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1992. – 462 с.*
7. *Попов В.А. Долговечность эксплуатируемых бетонных покрытий аэродромов / В.А. Попов. – М.: Техполиграфцентр, 2007. – 192 с.*
8. *Рекомендации по ремонту и уходу за деформационными швами в малых и средних мостах / Министерство автомобильных дорог РСФСР. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. – 41 с.*
9. *Методические рекомендации по применению новой пластифицированной битумно-бутилкаучуковой мастики для герметизации швов цементобетонных покрытий / Союздорнии. – М., 1985. – 17 с.*
10. *Технические указания по приготовлению резинобитумной мастики и способы заполнения деформационных швов цементобетонных дорожных покрытий. ВСН 11-72 / Гипродорнии Минавтодора РСФСР. – М.: Транспорт, 1971. – 28 с.*
11. *ТУ 213 РСФСР 539-85. Мастика битумно-изопреновая МБИ-8 (горячая) для заполнения деформационные швов мостов / Министерство автомобильных дорог РСФСР. - М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. – 39 с*
12. *Методические рекомендации по применению полимерно-битумного вяжущего (на основе ДСТ) при строительстве дорожных, мостовых и аэродромных асфальтобетонных покрытий / Союздорнии. – М., 1979. – 44 с.*
13. *Виноградов А.П. Оценка эксплуатационно-технического состояния цементобетонных покрытий аэродромов / А.П. Виноградов // Труды ГосРГИИГА. – М., 1984. – Вып. 237. – С. 11-13.*

14. *Иванов В.Н. Гражданские аэродромы / В.Н. Иванов // М.: Воздушный транспорт, 2005. – 280 с.*
15. *Иванов В.Н. Аэропроект и аэропорты/ В.Н. Иванов // М.: Воздушный транспорт, 1998. – 264 с.*
16. *Кульчицкий В.А. Аэродромные покрытия. Современный взгляд / В.А. Кульчицкий, В.А. Макагонов, Н.Б. Васильев, А.Н. Чеков, Н.И. Романков. – М.: Физматлит, 2002. – 528 с.*
17. *Цопанов Э.С. Совершенствование технических решений при проектировании покрытий гражданских аэродромов: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Цопанов Эдуард Святославович; Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). – М., 2021. – 173 с.*
18. *Опыт США по проектированию жестких дорожных одежд: научно-технический информационный сборник / ФГУП «Информавтодор». – М., 2010. – Вып. 2. – 68 с.*
19. *Козлов Л.Н. Современные методы ремонта и профилактической защиты искусственных покрытий аэродромов и автомобильных дорог / Л.Н. Козлов, Р. Альте-Тейгелер, А.П. Виноградов. – М., 1997. – 21 с.*
20. *Лещицкая Т.П. Современные методы ремонта аэродромных покрытий: учеб. пособие / Т.П. Лещицкая, В.А. Попов. – М.: МГАДИ (ТУ), 1999. – 131 с.*
21. *Смирнов В.С. Диагностика повреждений аэродромных покрытий / В.С. Смирнов, Г.Я. Ключников. – М.: Транспорт, 1984. – 121 с.*
22. *Вторушин В.Н. Как обеспечить долговечность покрытий / В.Н. Вторушин, В.П. Попов // Аэропорты. Прогрессивные технологии. – 1999. – № 4. – С. 17-21.*
23. *Андронов В.Д. Разработка стратегии поддержания эксплуатационно-технического состояния аэродромных покрытий: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.11 // Андронов Вадим Дмитриевич; Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). – М., 2012. – 22 с.*
24. *Башкатова В.А. Повышение уровня эксплуатационно-технического состояния аэродромных покрытий за счет разработки и применения эффективного герметизирующего материала: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.11 // Башкатова Вера Александровна; Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). – М., 2003. – 20 с.*

25. *Леденев А.А. Модифицированные герметизирующие материалы с улучшенными физико-механическими свойствами для деформационных швов аэродромных покрытий и автомобильных дорог / А.А. Леденев, Ю.Е. Грядунова, В.К. Макогон, Д.Н. Внуков, С.С. Никулин // Вестник инженерной школы ДВФУ. – 2022. – № 3(52). – С. 81-89.*
26. *Барабаш Д.Е. Гидрофильные герметики для автомобильных дорог и аэродромов / Д.Е. Барабаш, В.В. Волков, А.И. Черников // Строительные материалы. – 2011. – Октябрь. – С. 55-58.*
27. *Никулин С.С. Улучшение свойств герметика с использованием деструктированного бутадиен-стирольного каучука / С.С. Никулин, М.В. Енютина, О.Н. Филимонова, Н.С. Никулина // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2021. – № 1. – С. 23-28. DOI: 10.24412/2071-8268-2021-1-23-28.*
28. *Левченко С.И. Использование резиновой крошки в качестве эластичного наполнителя битумных мастик / С.И. Левченко, В.Р. Пен, Е.В. Харьянова // Химия и химические технологии. – 2017. – С. 44-45.*
29. *Руденский А.В. Применение резиновой крошки для повышения качества дорожных битумов и асфальтобетонов / Руденский А.В., Хромов А. С., Марьев В. А. / А.В. Руденский, А.С. Хромов, В.А. Марьев // Дороги России XXI века. – 2004. – № 5. – С. 62-71.*
30. *Касаткин М.М. Переработка амортизированных автомобильных (авиационных) шин и отходов резины / М.М. Касаткин. – М.: Наука, 2014. – 216 с.*
31. *Суладзе М.Д. Эксплуатационно-техническое состояние жестких аэродромных покрытий / М.Д. Суладзе, В.К. Федулов. – М.: Наука, 2019. – 102 с.*
32. *Сборник SP-94 / American Concrete Institute. – New York, 1994.*
33. *Горецкий Л.И. Теория и расчет цементобетонных покрытий на температурные воздействия / Л.И. Горецкий. – М.: Транспорт, 1965. – 284 с.*
34. *ASTM D5340-12 (Reapproved 2018). Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys (Стандартный метод определения индекса состояния аэродромного покрытия). – 55 p.*

35. *Демьянушко И.В. Конечно-элементные модели для расчета плиты жесткого дорожного покрытия / И.В. Демьянушко, В.П. Носов, В.М. Стаин, А.В. Стаин // Транспортное строительство. – 2012. – № 4. – С. 7-10.*

REFERENCES

1. *Spravochnik inzhenera-dorozhnika dlya inzhenerov i tekhnikov dorozhnogo dela: izyskaniya i proektirovanie avtoguzhevyh dorog / red. A. I. Anohin. – Leningrad: Gosudarstvennoe transportnoe izdatel'stvo, 1935. – 685 s.*
2. *Nekrasov V.K. Gorodskoe dorozhnoe stroitel'stvo / V.K. Nekrasov – M.: Gostransizdat, 1935. –350 s.*
3. *Ivanov N.N. Stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog / N.N. Ivanov. – M.: Dorizdat, 1948. – 229 s.*
4. *Spravochnik inzhenera-dorozhnika. Stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog / [avt.-sost. V.A. Bochin i dr.; gl. red. N.V. Ornatskij]. – M.: Avtotransizdat, 1963. – 776 s.*
5. *Vinogradov A.P. // Prodlenie ekspluatacionnogo resursa pokrytij avtomobil'nyh dorog i aerodromov / A.P. Vinogradov i dr. / Irmast-Holding. – M., 2001. – 170 s.*
6. *Izyskaniya i proektirovanie aerodromov: [Ucheb. po spec. «Str-vo avtomob. dorog i aerodromov» / G.I. Glushkov, A.S. Smirnov, V.F. Babkov i dr.]; pod red. G. I. Glushkova. – 2-e izd., pererab. i dop. – M.: Transport, 1992. – 462 s.*
7. *Popov V.A. Dolgovechnost' ekspluatiruemyh betonnyh pokrytij aerodromov / V.A. Popov. – M.: Tekhpoligrafcentr, 2007. – 192 s.*
8. *Rekomendacii po remontu i uhodu za deformacionnymi shvami v malyh i srednih mostah / Ministerstvo avtomobil'nyh dorog RSFSR. – M.: CBNTI Minavtodora RSFSR, 1989. – 41 s.*
9. *Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu novoj plastificirovannoj bitumno-butilkauchukovoj mastiki dlya germetizacii shvov cementobetonnyh pokrytij / Soyuzdornii. – M., 1985. – 17 s.*
10. *Tekhnicheskie ukazaniya po prigotovleniyu rezinobitumnoj mastiki i sposoby zapolneniya deformacionnyh shvov cementobetonnyh dorozhnyh pokrytij. VCH 11-72 / Giprodornii Minavtodora RSFSR. – M.: Transport, 1971. – 28 s.*
11. *TU 213 PSFCP 539-85. Mastika bitumno-izoprenovaya MBI-8 (goryachaya) dlya zapolneniya deformacionnye shvov mostov.*

12. *Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu polimerno-bitumnogo vyazhushchego (na osnove DST) pri stroitel'stve dorozhnyh, mostovyh i aerodromnyh asfal'tobetonnyh pokrytij / Soyuzdornii. – M., 1979. – 44 s.*
13. *Vinogradov A.P. Ocenka ekspluatacionno-tekhnicheskogo sostoyaniya cementobetonnyh pokrytij aerodromov / A.P. Vinogradov // Trudy GosRGIIGA. – M., 1984. – Vyp. 237. – S. 11-13.*
14. *Ivanov V.N. Grazhdanskie aerodromy / V.N. Ivanov // M.: Vozdushnyj transport, 2005. – 280 s.*
15. *Ivanov V.N. Aeroproekt i aeroporty/ V.N. Ivanov // M.: Vozdushnyj transport, 1998. – 264 s.*
16. *Kul'chickij V.A. Aerodromnye pokrytiya. Sovremennyj vzglyad / V.A. Kul'chickij, V.A. Makagonov, N.B. Vasil'ev, A.N. Chekov, N.I. Romankov. – M.: Fizmatlit, 2002. – 528 s.*
17. *Copanov E.S. Sovershenstvovanie tekhnicheskih reshenij pri proektirovanii pokrytij grazhdanskih aerodromov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.11 / Copanov Eduard Svyatoslavovich; Mosk. avtomobil.-dorozh. gos. tekhn. un-t (MADI). – M., 2021. – 173 s.*
18. *Opyt SShA po proektirovaniyu zhestkih dorozhnyh odezhd: nauchno-tekhnicheskij informacionnyj sbornik / FGUP «Informavtodor». – M., 2010. – Vyp. 2. – 68 s.*
19. *Kozlov L.N. Sovremennye metody remonta i profilakticheskoj zashchity iskusstvennyh pokrytij aerodromov i avtomobil'nyh dorog / L.N. Kozlov, R. Al'te-Tejgeler, A.P. Vinogradov. – M., 1997. – 21 s.*
20. *Leshchickaya T.P. Sovremennye metody remonta aerodromnyh pokrytij: ucheb. posobie / T.P. Leshchickaya, V.A. Popov. – M.: MGADI (TU), 1999. – 131 s.*
21. *Smirnov B.C. Diagnostika povrezhdenij aerodromnyh pokrytij / B.C. Smirnov, G.Ya. Klyuchnikov. – M.: Transport, 1984. –121 s.*
22. *Vtorushin V.N. Kak obespechit' dolgovechnost' pokrytij / V.N. Vtorushin, V.P. Popov // Aeroporty. Progressivnye tekhnologii. – 1999. – № 4. – S. 17-21.*
23. *Andronov V.D. Razrabotka strategii podderzhaniya ekspluatacionno-tekhnicheskogo sostoyaniya aerodromnyh pokrytij: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk: 05.23.11 // Andronov Vadim Dmitrievich; Mosk. avtomobil.-dorozh. gos. tekhn. un-t (MADI). – M., 2012. – 22 s.*
24. *Bashkatova V.A. Povyshenie urovnya ekspluatacionno-tekhnicheskogo sostoyaniya aerodromnyh pokrytij za schet razrabotki i primeneniya effektivnogo germetiziruyushchego materiala: avtoref.*

dis. … kand. tekhn. nauk: 05.23.11 // Bashkatova Vera Aleksandrovna; Mosk. avtomobil.-dorozh. gos. tekhn. un-t (MADI). – M., 2003. – 20 s.

25. *Ledenev A.A. Modificirovannye germetiziruyushchie materialy s uluchshennymi fiziko-mekhanicheskimi svojstvami dlya deformacionnyh shvov aerodromnyh pokrytij i avtomobil'nyh dorog / A.A. Ledenev, Yu.E. Gryadunova, V.K. Makogon, D.N. Vnukov, S.S. Nikulin // Vestnik inzhenernoj shkoly DVFU. – 2022. – № 3 (52). – S. 81-89.*
26. *Barabash D.E. Gidrofil'nye germetiki dlya avtomobil'nyh dorog i aerodromov / D.E. Barabash, V.V. Volkov, A.I. Chernikov // Stroitel'nye materialy. – 2011. – Oktyabr'. – S. 55-58.*
27. *Nikulin S.S. Uluchshenie svojstv germetika s ispol'zovaniem destruktirovannogo butadienstirol'nogo kauchuka / S.S. Nikulin, M.V. Enyutina, O.N. Filimonova, N.S. Nikulina // Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov. – 2021. – № 1. – S. 23-28. DOI: 10.24412/2071-8268-2021-1-23-28.*
28. *Levchenko S.I. Ispol'zovanie rezinovoj kroshki v kachestve elastichnogo napolnitelya bitumnyh mastik / S.I. Levchenko, V.R. Pen, E.V. Har'yanova // Himiya i himicheskie tekhnologii. – 2017. – S. 44-45.*
29. *Rudenskij A.V. Primenenie rezinovoj kroshki dlya povysheniya kachestva dorozhnyh bitumov i asfal'tobetonov / Rudenskij A.V., Hromov A.S., Mar'ev V.A. / A.V. Rudenskij, A.S. Hromov, V.A. Mar'ev // Dorogi Rossii XXI veka. – 2004. – № 5. – S. 62-71.*
30. *Kasatkin M.M. Pererabotka amortizirovannyh avtomobil'nyh (aviacionnyh) shin i othodov reziny / M.M. Kasatkin. – M.: Nauka, 2014. – 216 s.*
31. *Suladze M.D. Ekspluatacionno-tekhnicheskoe sostoyanie zhestkih aerodromnyh pokrytij / M.D. Suladze, V.K. Fedulov. – M.: Nauka, 2019. – 102 s.*
32. *Sbornik SP-94 / American Concrete Institute. – New York, 1994.*
33. *Goreckij L.I. Teoriya i raschet cementobetonnyh pokrytij na temperaturnye vozdejstviya / L.I. Goreckij. – M.: Transport, 1965. – 284 s.*
34. *ASTM D5340-12 (Reapproved 2018). Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys (Standartnyj metod opredeleniya indeksa sostoyaniya aerodromnogo pokrytiya). – 55 p.*

35. *Dem'yanushko I.V. Konechno-elementnye modeli dlya rascheta plity zhestkogo dorozhnogo pokrytiya / I.V. Dem'yanushko, V.P. Nosov, V.M. Stain, A.V. Stain // Transportnoe stroitel'stvo. – 2012. – № 4. – S. 7-10.*

……..

Информация об авторах

М.А. Агафонов – аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), главный специалист, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия
В.И. Неделькин – доктор химических наук, профессор, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Россия

Information about the authors

Agafonov M.A. – Postgraduate student, Moscow Automobile State Technical University (MADI), Chief Specialist, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia
Nedelkin V.I. – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Moscow Automobile State Technical University (MADI), Moscow, Russia

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Рецензент: канд. техн. наук, Е.А. Макарова, ФГУП «Администрация гражданских аэропортов (аэродромов)»

Статья поступила в редакцию 07.08.2024. Одобрена после рецензирования 29.08.2024. Принята к публикации 23.10.2024.
The article was submitted 07.08.2024. Approved after reviewing 29.08.2024. Accepted for publication 23.10.2024.