

УДК: 625.848
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.6
EDN: GAADEC



Требования к герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий автомобильных дорог

В.А. Максимов¹, В.В. Ушаков¹

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет,
г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Качественная и своевременная герметизация деформационных швов цементобетонных покрытий является неотъемлемой частью в поддержании высокого срока службы автомобильных дорог. В связи с расширением видов и качества герметизирующих материалов необходима разработка требований к герметизации деформационных швов. Цель работы заключается в определении факторов, от которых зависит выбор герметизирующих материалов, что в свою очередь, оказывает влияние на работоспособность деформационных швов цементобетонных покрытий. Задачами исследования являются: анализ основных герметизирующих материалов для деформационных швов цементобетонных покрытий, сравнение их основных характеристик, а также выявление факторов, оказывающих влияние на срок службы деформационных швов цементобетонных покрытий.

Результаты. Описаны основные климатические и эксплуатационные воздействия на деформационные швы, оказывающие влияние на срок службы цементобетонных покрытий. Рассмотрены основные виды и причины разрушения герметизирующих материалов в деформационных швах. Даны рекомендации в части правильного назначения герметизирующих материалов, с учетом природно-климатических условий эксплуатации цементобетонных покрытий.

Выводы. Результаты проведенного исследования позволяют установить преимущества и недостатки различных видов герметизирующих материалов и дать рекомендации по их выбору.

Ключевые слова: автомобильные дороги, цементобетонные покрытия, деформационные швы, герметизирующие материалы, герметизация

Для цитирования: Максимов В.А., Ушаков В.В. Требования к герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий автомобильных дорог // Известия КГАСУ, 2024, № 2(68), с. 66-76, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.6, EDN: GAADEC

Requirements for sealing expansion joints of cement concrete pavements of highways

V.A. Maksimov¹, V.V. Ushakov¹

¹Moscow Automobile and Highway State Technical University,
Moscow, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* High-quality and timely sealing of expansion joints of cement concrete pavements is an integral part in maintaining a high service life of highways. In connection with the extension of the types and quality of sealing materials, it is necessary to develop requirements for sealing expansion joints. The purpose of the work is to determine the factors on which the choice of sealing materials depends, which in turn affects the performance of expansion joints of cement concrete pavements. The objectives of the study are: analysis of

the main sealing materials for expansion joints of cement concrete pavements, comparison of their main characteristics, as well as identification of factors that influence the service life of expansion joints of cement concrete pavements.

Results. The main climatic and operational influences on expansion joints that affect the service life of cement concrete pavements are described. The main types and causes of destruction of sealing materials in expansion joints are considered. Recommendations are given regarding the correct purpose of sealing materials, taking into account the natural and climatic conditions of operation of cement concrete pavements.

Conclusions. The results of the study make it possible to establish the advantages and disadvantages of various types of sealing materials and provide recommendations for their selection.

Keywords: highways, cement concrete pavements, expansion joints, sealing materials, sealing

For citation: Maksimov V.A., Ushakov V.V. Requirements for sealing expansion joints of cement concrete pavements of highways // News KSUAE, 2024, № 2(68), p. 66-76, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.6, EDN: GAADEC

1. Введение

Цементобетонные покрытия автомобильных дорог в период всего срока эксплуатации подвержены воздействию транспортных нагрузок и различных природно-климатических факторов (температурным воздействиям от изменения температуры и периодическим циклам замораживания-оттаивания) [1-3]. Среди данных факторов особое место занимают климатические условия (суточные и годовые колебания температуры). Температурный режим во многом зависит от величины и скорости изменения температуры воздуха, а также от солнечной радиации [4-6].

Снижение срока службы цементобетонных покрытий автомобильных дорог во многом связано с разрушением деформационных швов. Современное строительство цементобетонных покрытий предполагает использование различных типов герметизирующих материалов в деформационных швах [7-9]. Из всего многообразия герметиков, в дорожном строительстве лидирующие места занимают полимерно-битумные и полисульфидные герметики [10-12]. Однако в настоящее время отсутствует систематизация требований в Российской Федерации к герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий. Цель данной работы состоит в определении тех факторов, от которых зависит выбор герметизирующих материалов, что оказывает влияние на работоспособность деформационных швов цементобетонных покрытий.

Задачами исследования являются:

- анализ основных герметизирующих материалов для деформационных швов цементобетонных покрытий, сравнение их основных характеристик;
- выявление факторов, оказывающих влияние на срок службы деформационных швов цементобетонных покрытий автомобильных дорог.

2. Материалы и методы

Для анализа были изучены работы отечественных и зарубежных авторов, в том числе, диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук (О.А. Сидоркина, В.В. Ушакова, В.В. Лазукина, В.А. Башкатовой, Л.Н. Комчихиной, А.С. Семенова и др.). В данных работах авторами рассмотрены вопросы прогнозирования циклической долговечности герметизирующего материала в деформационных швах жестких аэродромных покрытий [13-15], повышения уровня эксплуатационно-технического состояния аэродромных покрытий за счет разработки и применения эффективных герметизирующих материалов, а также исследования температурных перемещений [16] и разработки метода расчета оптимальных размеров плит цементобетонных покрытий.

Также детально изучены нормативные документы и стандарты организаций на полимерно-битумные и полисульфидные герметики. Исходя из данных стандартов, полимерно-битумные герметики для герметизации деформационных швов

подразделяются в зависимости от температурных пределов их эксплуатации. Полисульфидные герметики же не классифицируются исходя из температурных пределов их эксплуатации [17-19]. Также, на основе нормативной документации, комплексно обобщены основные физико-механические показатели герметизирующих материалов [20-22]. Рассмотрена и проанализирована работоспособность герметизирующих материалов в деформационных швах цементобетонных покрытий, а также влияние температурных перепадов на деформационные швы, в целом [23-25].

3. Результаты и обсуждение

На сегодняшний день, наибольшее распространение получили дорожные полимерно-битумные герметики. Среди отечественных герметиков, наибольшее распространение, в части герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий, получили герметики «Брит» и «Новомаст», их основные характеристики приведены в табл. 1. Среди импортных герметиков, значительное применение в Российской Федерации получили «Crafco» (США) и «Viguma» (Германия).

Таблица 1

Характеристики полимерно-битумных герметизирующих материалов для деформационных швов цементобетонных покрытий

Герметизирующий материал	Относительное удлинение при разрыве при температуре -20 °С, %, не менее	Гибкость, °С, не выше	Температура липкости, °С, не ниже	Дорожно-климатические зоны
«Брит» БП-Г25	75	-25	+50	III – V
«Брит» БП-Г35	150	-35	+50	II – IV
«Брит» БП-Г45	200	-45	+80	IV – V
«Брит» БП-Г50	200	-50	+50	I – II
«Брит» БП-Г55 Nord	300	-55	+50	I – II
«Брит» Арктик-3	150	-45	+70	II – IV
«Новомаст» БП-Г25Т	75	-25	+65	III – V
«Новомаст» БП-Г35Ш	150	-35	+75	II – III
«Новомаст» БП-Г50Ш	200	-50	+75	I – II

Однако, в последние годы, наметилась тенденция к активному использованию полисульфидных (тиоколовых) герметиков. Отличительными свойствами полисульфидных герметиков является, во-первых, сохранение эластичности и прочности в широком диапазоне температур; во-вторых, высокая стойкость к воздействию УФ-облучения и атмосферным воздействиям; в-третьих, отверждение герметика в заранее заданное время независимо от внешних условий и сохранение адгезии в присутствии воды [26-28].

Основными производителями полисульфидных герметиков в Российской Федерации для деформационных швов являются производственные компании САЗИ (ООО «ПК «САЗИ») и ООО «Химтех-Р». Основные характеристики полисульфидных герметизирующих материалов для деформационных швов цементобетонных покрытий приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики полисульфидных герметизирующих материалов для деформационных швов цементобетонных покрытий

Герметизирующий материал	Относительное удлинение при разрыве при температуре -20 °С, %, не менее	Относительное удлинение при разрыве, на образцах швов, %, не менее	Гибкость, °С, не выше	Температура липкости, °С, не ниже	Диапазон температур эксплуатации
«Сазиласт 501»	150	250	-60	+110	от -60 до +90
«Сазиласт 502»	300	350	-60	+110	от -60 до +90
«Сазиласт 503»	250	300	-60	+110	от -60 до +90
«Лепта Ъ» марка 1	380	-	-60	+125	от -60 до +120

Согласно современной классификации, полимерно-битумные герметики для герметизации деформационных швов в цементобетонных покрытиях автомобильных дорог, в зависимости от температурных пределов их эксплуатации, подразделяются на типы: Ш₁ (от -40 °С до +60 °С), Ш₂ (от -40 °С до +80 °С), Ш₃ (от -35 °С до +90 °С). Их физико-механические характеристики определяются в зависимости от тех же температурных пределов эксплуатации. В табл. 3 приведены физико-механические показатели полимерно-битумных герметиков.

Таблица 3

Основные физико-механические показатели полимерно-битумных герметиков в зависимости от температур их эксплуатации

Показатель	Норма для типа		
	Ш ₁	Ш ₂	Ш ₃
1. Температура размягчения по Кольцу и Шару, °С, не ниже	80	90	100
2. Адгезия с основанием методом отрыва, МПа, не менее	1,0		
3. Относительное удлинение на растяжении при -20 °С, %, не менее	150	80	-
4. Эластичность при 0 °С, %, не менее	100		
5. Текучесть, мм, при температуре:	60 °С	0 – 3	-
	70 °С	-	0 – 1
	80 °С	-	0 – 3
6. Водопоглощение, %, не более	0,2		

Полисульфидные же герметики, в отличие от битумных, не классифицируются исходя из температурных пределов их эксплуатации. Отсутствие данной классификации может говорить либо о том, что полисульфидные герметики применимы в абсолютно любой дорожно-климатической зоне, либо о том, что требуется их градация, с учетом перепадов температур в районе эксплуатации деформационных швов цементобетонных покрытий. В настоящее время, ООО «ПК «САЗИ» разработаны стандарты организации на тиоколовые герметики для деформационных швов цементобетонных покрытий.

В табл. 4 приведены технические показатели качества полисульфидных герметиков.

Таблица 4

Технические показатели качества полисульфидных герметиков

Показатель	Сазиласт 501	Сазиласт 502	Сазиласт 503
1. Условная прочность при разрыве на образцах, МПа, не менее	1,4	1,1	1,5
2. Относительное удлинение при разрыве на образцах швов, %, не менее	250	350	300
3. Модуль упругости при 100% удлинении на образцах швов, МПа, не менее	0,6		
4. Выносливость, циклов, не менее	35000	40000	35000
5. Водопоглощение, % по массе, не более	0,5		
6. Изменение массы после испытания на старение под воздействием УФ-излучения в течение 1000 часов, %, не более	5		
7. Температура, характеризующая гибкость герметика, °С, не выше	-60		
8. Температура липкости, °С, не ниже	+110		
9. Относительное удлинение в момент разрыва при температуре -20 °С, %, не менее	150	300	250

В процессе эксплуатации цементобетонных покрытий автомобильных дорог, герметизирующие материалы в деформационных швах подвергаются воздействию различных климатических и эксплуатационных факторов (табл. 5) [29-31]. Большая повторяемость деформационных нагрузок значительно усиливает отрицательный эффект вышеуказанных факторов и ускоряет процесс разрушения герметизирующего материала в деформационных швах цементобетонных покрытий [32-34].

Таблица 5

Факторы оказывающие влияние на герметизирующие материалы в деформационных швах цементобетонных покрытий

Климатические факторы	Эксплуатационные факторы
Воздействие отрицательных и положительных температур воздуха (большие сезонные перепады температур)	Динамические (переменные) нагрузки (воздействие ТС различной грузоподъемности)
Воздействие ультрафиолетового излучения	Воздействие химических реагентов (при зимнем содержании)
Деформационные нагрузки (вызванные температурным расширением и сжатием плит покрытия)	Механические воздействия при уборке снежно-ледяных отложений
Воздействие осадков	

В табл. 6 приведены температурно-эксплуатационные условия работы цементобетонных покрытий в различных климатических зонах РФ. Можем видеть, что в каждой климатической зоне существует конкретное количество циклов замораживания-оттаивания и определенные годовые и суточные амплитуды колебаний температур, что в свою очередь, должно оказывать влияние на выбор герметика и на геометрию деформационного шва.

Таблица 6

Анализ температурно-эксплуатационных условий климатических зон РФ

Климатический район	Температура воздуха, °С			Годовая амплитуда воздуха макс/сред	Количество случаев перехода температуры через 0 °С
	Сред. min/max	min	max		
Центральный	-11,6	-52	+39	86	21
	+19,2			30,8	
Центрально-Чернозёмный	-10,6	-38	+42	79	25
	+20,7			31,3	
Восточно-Сибирский	-36,8	-67	+40	107	17
	+19,9			56,7	
Дальневосточный	-43,6	-63	+42	106	31
	+21,8			65,4	
Северный	-6,2	-38	+35	74	39
	+18,3			24,5	
Северо-Кавказский	-5,8	-35	+43	79	-
	+29,4			35,2	
Северо-Западный	-16,5	-16	+36	87	27
	+18,1			34,6	
Поволжский	-13,7	-47	+42	92	18
	+25,6			39,3	
Уральский	-18,6	-48	+43	92	13
	+22,3			40,9	
Волго-Вятский	-14,4	-46	+39	86	24
	+19,6			34,0	
Западно-Сибирский	-23,8	-54	+41	96	17
	+20,1			43,9	
Калининградский	+4,7	-33	+35	20,4	12
	+12,3			7,6	

Анализируя состояние герметика в деформационных швах цементобетонных покрытиях, можно выделить следующие типы дефектов герметизации:

- плохая адгезия герметика к бетону (связана с несоответствием свойств герметика эксплуатационным требованиям или с неправильной предварительной обработкой и заполнением деформационного шва) [35-36];
- выступание герметика из швов;
- изменение формы поверхности герметика в швах;

- образование трещин на поверхности герметика в продольном и поперечном направлениях.

Отсутствие герметика в стыке, изменение его геометрии напрямую связано с выдуванием герметика или его прилипанием к колесам ТС, что также является следствием неправильного выбора типа герметика в данной дорожно-климатической зоне.

Разгерметизация деформационных швов в цементобетонных покрытиях вызвана технологическими и эксплуатационными причинами (табл. 7).

Таблица 7

Причины разгерметизации деформационных швов

Технологические причины	Эксплуатационные причины
Низкое качество герметика в деформационных швах;	Попадание посторонних частиц в деформационные швы
Недостаточное качество подготовки деформационных швов перед их герметизацией	Использование шипованной резины
Наличие влаги во время заполнения герметизирующими материалами	Динамическое воздействие транспортных средств

Разгерметизацию деформационных швов возможно минимизировать, соблюдая рекомендации в части технологии нанесения герметика в деформационный шов. Для этого необходимо выявить зависимость изменения геометрии герметика в шве при многоцикловых деформациях плит цементобетонных покрытий.

Существующие исследования в части влияния сезонного перепада температуры региона на перемещение плит цементобетонных покрытий [37-39] показывают, что при понижении температуры на Δt , плита длиной l может сократиться на длину Δl . В этой связи, перемещение плиты численно можно посчитать по следующей формуле:

$$\Delta l = \alpha \times E_6 \times \Delta t,$$

где α – коэффициент линейно-температурного расширения бетона, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

E_6 – расчетный модуль упругости бетона, МПа;

Δt – расчетный перепад температур, $^{\circ}\text{C}$.

Анализируя данную зависимость, можем видеть, что значение коэффициента линейно-температурного расширения и расчетного модуля упругости бетона постоянны. Раскрытия деформационных швов напрямую зависят от сезонных и суточных перепадов температуры воздуха в конкретном регионе.

4. Заключение

1. В Российской Федерации наибольшее распространение в области герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий имели дорожные полимерно-битумные герметики. Установлено, что наметилась динамика к активному использованию полисульфидных (тиоколовых) герметиков, обладающих сохранением эластичности и прочности в широком диапазоне температур, высокой стойкостью к воздействию УФ-облучения и атмосферным воздействиям. Полисульфидные герметики, в отличие от битумных, не имеют классификации исходя из температурных пределов их эксплуатации.
2. Выявлено, что выбор вида герметизирующих материалов зависит от природно-климатических условий эксплуатации, правильного назначения геометрических параметров и времени выполнения работ по герметизации деформационных швов цементобетонных покрытий автомобильных дорог.
3. Установлено, что раскрытие деформационных швов напрямую зависят от сезонных и суточных перепадов температуры воздуха в конкретном регионе. На выбор герметизирующих материалов в конкретной климатической зоне должно оказывать влияние, определенные для данного региона, количество циклов замораживания-оттаивания, годовые и суточные амплитуды колебаний температур.

4. При учете данных факторов можно в значительной степени повысить работоспособность деформационных швов цементобетонных покрытий, что позволит увеличить срок их службы.

Список литературы/ References

1. Ярмолинский В.А., Колушкин В.В., Ярмолинская Е.В. Применение современных герметизирующих материалов для ремонта деформационных швов цементобетонных покрытий: Международный сборник научных трудов. Том 17 / Тихоокеанский государственный университет. Хабаровск, 2017.- С. 124 – 128. [Yarmolinsky V.A., Kolushkin V.V., Yarmolinskaya E.V. The use of modern sealing materials for the repair of expansion joints of cement concrete pavements: International collection of scientific works. Volume 17 / Pacific State University. Khabarovsk, 2017.- P. 124 – 128]
2. Максимов В.А., Ушаков В.В. Обоснование технологии содержания цементобетонных покрытий автомобильных дорог для повышения срока их службы // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2022. – № 2 (32). [Maksimov V.A., Ushakov V.V. Justification of the technology for maintaining cement concrete pavements of highways to increase their service life // Automobile. Road. Infrastructure. – 2022. – No. 2 (32).]
3. Пшембаев М.К., Гиринский В.В., Ковалев Я.Н., Яглов В.Н., Будниченко С.С. Поровая структура дорожного бетона. // Наука и техника. 2016;15(4):298-307. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-4-298-307> [Pshembaev M.K., Girinsky V.V., Kovalev Ya.N., Yaglov V.N., Budnichenko S.S. Porous structure of road concrete. Science and technology. 2016;15(4):298-307. (<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2016-15-4-298-307>)]
4. Пшембаев М.К., Ковалев Я.Н., Шевчук Л.И. Анализ напряженного состояния поверхностного слоя дорожных бетонных покрытий при температурном воздействии // Наука и техника. 2017. Т. 16, № 4. С. 282–288. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-282-288 [Pshembaev M.K., Kovalev Ya.N., Shevchuk L.I. Analysis of the stress state of the surface layer of road concrete pavements under temperature influence // Science and technology. 2017. Vol. 16, No. 4. P. 282–288. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-4-282-288]
5. Huiyu Xu, Zhihui Hu, Tao Xu. Effects of healing agent on shape memory, mechanical and self- healing properties of joint filler on cement concrete pavement. Construction and Building Materials. Volume 304, 18 October 2021. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124592.
6. Федотов В.В., Лазарев Ю.Г., Новик А.Н., Доброгорская Л.В. Требования к деформационным швам и факторы, способствующие их разрушению. Материалы Международной научно-практической конференции. / Комсомольский-на-Амуре государственный университет. Комсомольск-на-Амуре, 2019. – С. 355 – 359. [Fedotov V.V., Lazarev Yu.G., Novik A.N., Dobrogorskaya L.V. Requirements for expansion joints and factors contributing to their destruction. Materials of the International Scientific and Practical Conference. / Komsomolsk-on-Amur State University. Komsomolsk-on-Amur, 2019. – P. 355 – 359.]
7. Недоносков А.Б., Дорняк О.Р. Экспериментальное исследование температурных параметров цементобетонного покрытия при свч-нагреве деформационного шва. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под научной редакцией В.М. Козина. / Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема. Биробиджан, 2023. – С. 135 – 141. [Nedonoskov A.B., Dornyak O.R. Experimental study of the temperature parameters of a cement concrete coating during microwave heating of an expansion joint. Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Scientifically edited by V.M. Kozina. / Amur State University named after. Sholom Aleichem. Birobidzhan, 2023. – P. 135 – 141.]
8. Хисматуллин А.М., Ахмед Х.А.Х., Аль М.С.А.С., Аль Ш.М.Н.А., Бердник А.В. Продление срока службы деформационных швов. Материалы Международной

- научно-практической конференции. Редколлегия: О.Е. Сысоев (отв. ред.) [и др.] / Комсомольский-на-Амуре государственный университет. Комсомольск-на-Амуре, 2022. – С. 221 – 224. [Himatullin A.M., Ahmed H.A.H., Al M.S.A.S., Al Sh.M.N.A., Berdnik A.V. Extending the service life of deformation seams. Materials of the International Scientific and Practical Conference. Editorial board: O.E. Sysoev (chief editor) [and others]. / Komsomolsky-on-Amur State University. Komsomolsk-on-Amur, 2022. - P. 221-224.]
9. Justyna Stepien, Eva Remisova. Characterization of Hot-Applied Joint Sealants and Their Components in Terms of Their Chemical Composition and Basic Performance Properties. *Materials* 2023, 16, 6490. DOI: 10.3390/ma16196490
 10. Бондарев Б.А., Зайцева Т.М., Саакян А.Г., Лезгина Т.Р. Оценка износа конструкций деформационных швов и пути повышения их долговечности // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2019. № 4 (10). 126-132 с. [Bondarev B.A., Zaitseva T.M., Saakyan A.G., Lezgina T.R. Assessment of wear of expansion joint structures and ways to increase their durability // Bulletin of PNIPIU. Construction and architecture. – 2019. No. 4 (10). P. 126-132]
 11. Материалы для дорожного строительства // САЗИ. – URL: <https://www.sazi-group.ru/doroga-sazi>. (дата обращения: 22.04.2024) [Materials for road construction // SAZI. – URL: <https://www.sazi-group.ru/doroga-sazi>. (reference date: 22.04.2024)]
 12. Коротков А.С., Гончарова М.А. Деформационные швы и современные методы их совершенствования. Сборник научных статей по материалам VIII Международной научно-практической конференции / Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр "Вестник науки». Уфа, 2022. – С. 39 – 47. [Korotkov A.S., Goncharova M.A. Expansion joints and modern methods for their improvement. Collection of scientific articles based on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference / Limited Liability Company "Scientific Publishing Center "Bulletin of Science". Ufa, 2022. – P. 39 – 47.]
 13. Леденев А.А., Грядунова Ю.Е., Макогон В.К., Внуков Д.Н., Никулин С.С. Модифицированные герметизирующие материалы с улучшенными физико-механическими свойствами для деформационных швов аэродромных покрытий и автомобильных дорог // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 3(52). С. 81–89. [Ledenev A.A., Gryadunova Yu.E., Makogon V.K., Vnukov D.N., Nikulin S.S. Modified sealing materials with improved physical and mechanical properties for expansion joints of airfield pavements and highways // Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University. 2022. No. 3(52). P. 81–89]
 14. Jinho Kim, Dan Zollinger, Seunghyun Lee. Experimental Study on the Design and Behavior of Concrete Pavement Joint Sealants. *Transportation Research Record* 2021, Vol. 2675(6) 369–379. DOI: 10.1177/0361198121993472.
 15. Грядунова Ю.Е., Леденев А.А., Игуменова Т.И., Никулин С.С. Влияние дисперсных добавок на свойства герметика для швов аэродромного покрытия // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 2. С. 8–12. [Gryadunova Yu.E., Ledenev A.A., Igumenova T.I., Nikulin S.S. The influence of dispersed additives on the properties of sealant for airfield pavement joints // Adhesives. Sealants. Technologies. 2020. No. 2. P. 8–12.]
 16. Jinho Kim and Dan Zollinger. Effects of Shape and Bond Strength on Adhesive Failure of Joint Sealants. *Transportation Research Record* Volume 2675, Issue 1, January 2021, P. 203-212. DOI: 10.1177/0361198120962095.
 17. Carbary, L., Johnson, D., & Sutter, L. (2018). Assessing durability of pavement sealants based on surface preparation techniques. *ASTM Special Technical Publication, STP 1604*, 217-228. <http://doi.org/10.1520/STP160420170135>.
 18. Xin, J., Naisheng, G., You, Z., & Yiqiu, T. (2019). Research and development trends of polyurethane modified asphalt. *Materials Reports*, 33(21), 3686-3694. <http://doi.org/10.11896/cldb.18090011>.

19. Gong, F., Cheng, X., Wang, Q., Chen, Y., You, Z., & Liu, Y. (2023). A Review on the Application of 3D Printing Technology in Pavement Maintenance. *Sustainability* (Switzerland), 15(7). <http://doi.org/10.3390/su15076237>
20. Lv, S., Wang, S., Guo, T., Xia, C., Li, J., & Hou, G. (2018). Laboratory evaluation on performance of compound-modified asphalt for rock asphalt/styrene–butadiene rubber (SBR) and rock asphalt/nano-CaCO₃. *Applied Sciences*, 8(6), 1009. <http://doi.org/10.3390/app8061009>
21. Zheng, J., You, Z., & Liu, X. (2022). Achievements and Prospects of Functional Pavement: Materials and Structures. *Applied Sciences*. <http://doi.org/10.3390/books978-3-0365-5541-6>
22. Грифонова А.А., Алексеев С.В., Егошин А.М. Актуальные конструкции деформационных швов автодорожных мостов // Сетевой электронный журнал "Транспортные системы и технологии". - 2021. - Т. 7. - №2. - С. 42-54. doi: 10.17816/transsyst20217242-54 [Trifonova A.A., Alekseev S.V., Yegoshin A.M. Resent structures of road bridges' expansion joints // Transportation Systems and Technology. - 2021. - Vol. 7. - N. 2. - P. 42-54. doi: 10.17816/transsyst20217242-54]
23. Loprencipe, G.; Zoccali, P. Ride Quality Due to Road Surface Irregularities: Comparison of Different Methods Applied on a Set of Real Road Profiles. *Coatings* 2017, 7, 59.
24. Loprencipe, G.; Zoccali, P. Use of generated artificial road profiles in road roughness evaluation. *JMT* 2017, 25, 24–33.
25. Bonin, G.; Folino, N.; Loprencipe, G.; Oliverio, R.C.; Polizzotti, S.; Teltayev, B. Development of a Road Asset Management System in Kazakhstan. In Proceedings of the TIS 2017 International Congress on Transport—Infrastructure and Systems, Rome, Italy, 10–12 April 2017.
26. Loprencipe, G.; Pantuso, A.; di Mascio, P. Sustainable Pavement Management System in Urban Areas Considering the Vehicle Operating Costs. *Sustainability* 2017, 9, 453.
27. Paola Di Mascio, Giuseppe Loprencipe *, Laura Moretti, Lorenzo Puzzo and Pablo Zoccali. Bridge Expansion Joint in Road Transition Curve: Effects Assessment on Heavy Vehicles. Department of Civil, Constructional and Environmental Engineering, Sapienza University of Rome. 11 May 2017.31. doi:10.3390/app7060599.
28. Lu Lu, Deying Zhao, Jizhou Fan, Guoqiang Li. A brief review of sealants for cement concrete pavement joints and cracks. *Road Materials and Pavement Design* 23(10):1-25. March 2021. DOI:10.1080/14680629.2021.1898452.
29. Paweł Szymańska, Michał Pikosa, Piotr Nowotarskia. Concrete road surface with the use of cement concrete – selected results. 2nd International Joint Conference on Innovative Solutions in Construction Engineering and Management: 16th Lithuanian-German-Polish colloquium and 6th meeting of EURO working group Operational Research in Sustainable Development and Civil Engineering 24 May- 2nd International Workshop on flexibility in sustainable construction, ORSDCE 2017, 24-26 April 2017, Poznan-Puszczykowo, Poland. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.11.035.
30. Tanyıldızı, M., & Karaca, E. O. (2021). The superiorities of concrete roads over asphalt roads. 1st Advanced engineering Days, 48-50. 2021.
31. C. Paglia, C. Mosca. The concrete road pavement durability: a study of 50 years old structures in a south alpine space. 14 International Symposium on Concrete Roads, 25-28 June Krakow, Poland 2023.
32. Xiao D. X., Z. Wu, Longitudinal cracking of jointed plain concrete pavements in Louisiana, *International Journal of Pavement Research and Technology* 11, 2018.
33. Xiang, Q.; Xiao, F. Applications of Epoxy Materials in Pavement Engineering. *Constr. Build. Mater.* 2020, 235, 117529. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117529>.
34. Rashid, Muhammad; Ahmad, Naveed; Ahmed, Ahtsham. (2020). The effect of using jute fiber on deformation resistance of asphalt concrete.
35. Ahmad, Mushtaq; Al-Dala'ien, Rayah; Beddu, Salmia; Itam, Zarina. (2021). ThermoPhysical Properties of Graphite powder and Polyethylene Modified Asphalt Concrete. *Engineered Science*. Doi: 10.30919/es8d569.

36. Pan, Pan; Wu, Shaopeng; Hu, Xiaodi; Liu, Gang; li, bo. (2017). Effect of Material Composition and Environmental Condition on Thermal Characteristics of Conductive Asphalt Concrete. *Materials*. DOI: 10.218.10.3390/ma10030218.
37. Pugin K.G.. (2022). The Use of Polymer Materials in the Composition of Asphalt Concrete. 150-155. 10.21741/9781644901755-27.
38. Mikhasek, Andrey; Ivanov, Boris. (2017). Modified composite material developed on the basis of no-fines asphalt concrete. *MATEC Web of Conferences*. 106. 03022. Doi: 10.1051/mateconf/201710603022.
39. Karahancer, Sebnem. (2019). Reçine Kolofan odifikasyonunun Bitüm ve Sıcak Karışım Asfalt Üzerindeki Etkisi. *Süleyman emirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ergisi*. 23. 252-260. 10.19113/sdufenbed.518077.

Информация об авторах

Вадим Александрович Максимов, аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Российская Федерация

Email: Maksimov.Vadim.007@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1881-6639

Виктор Васильевич Ушаков, доктор технических наук, профессор, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, г. Москва, Российская Федерация

Email: madi-ushakov@mail.ru

Information about the authors

Vadim A. Maksimov, post-graduate student, Moscow Automobile and Highway State Technical University, Moscow, Russian Federation

Email: Maksimov.Vadim.007@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1881-6639

Victor V. Ushakov, doctor of technical sciences, professor, Moscow Automobile and Highway State Technical University, Moscow, Russian Federation

Email: madi-ushakov@mail.ru