

ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ – ПРОИЗВОДСТВУ



УДК 625.852

Ю.И. КАЛГИН, А. АЛШАХВАН

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТЕПЛЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Рассмотрена возможность применения теплых асфальтобетонных смесей для восстановления дорожной сети с асфальтобетонным покрытием в Сирийской Арабской Республике. Указаны преимущества применения теплых асфальтобетонных смесей в качестве альтернативного варианта горячим битумоминеральным материалам. Раскрыты технические проблемы, которые способны уменьшить эффективность применения теплого асфальтобетона в дорожных покрытиях. Приведены результаты эксперимента по изучению влияния климатического старения на свойства теплого асфальтобетона в восточных регионах Сирийской Арабской Республики. Показана целесообразность и эффективность применения теплого модифицированного асфальтобетона для устройства дорожных покрытий в жарком и сухом климате.

Ключевые слова: Сирийская Арабская Республика, асфальтобетон, теплая асфальтобетонная смесь, восстановление дорог, климатическое старение.

DOI 10.32683/05-36-1052-2021-752-8-94-104

В Сирийской Арабской Республике (САР) по причине военно-политических событий, произошедших за последние 10 лет, нуждаются в восстановлении многочисленные участки автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием. Для выполнения указанных дорожных работ необходимо построить значительное количество новых асфальтобетонных заводов, которые при использовании горячих асфальтобетонных смесей должны быть близко расположены к дорожным объектам, чтобы обеспечить требуемую высокую температуру доставленной смеси.

Приготовление горячих асфальтобетонных смесей (ГАС) требует существенных энергозатрат и приводит к значительным выбросам CO₂. При приготовлении ГАС производят сушку и нагрев минеральных материалов, разогрев вязкого органического вяжущего и смешивание компонентов смеси,

© Калгин Ю.И., Алшахван А., 2021

температура которой на выходе составляет около 155–165 °С [1]. Указанные параметры технологического процесса требуют высоких затрат на потребляемое топливо (природный газ, мазут) и его применение приводит к существенным выбросам в окружающую среду не только парниковых газов, но и загрязняющих веществ [2].

Снижение температуры приготовления асфальтобетонной смеси позволяет получить как экономические, так и экологические выгоды. Чем ниже температура нагрева и смешивания компонентов смеси, тем меньше выбросы парниковых газов и расход топлива.

Исследования [3, 4] доказали преимущества менее горячих технологий приготовления асфальтобетонных смесей. Таким преимуществом является увеличение срока службы дорожного покрытия вследствие исключения фактора термического и термоокислительного старения нефтяного дорожного битума в технологическом процессе приготовления, хранения и транспортировки асфальтобетонной смеси [5–7]. Также увеличивается возможность включения в смесь вторичного ресурса дорожной отрасли – переработанного асфальтобетона, что снижает потребность в ресурсах и утилизирует отслужившие дорожные материалы. Несомненно, использование менее горячих технологий улучшает условия труда на предприятиях дорожной отрасли.

Недостатки, присущие использованию технологии ГАС, в странах Европы и в России привели к ее частичной замене на производство теплой асфальтобетонной смеси (ТАС), что сопровождается снижением температур приготовления асфальтобетонных смесей на 20–40 °С, в зависимости от климатических условий региона строительства автомобильной дороги. Установлено, что использование технологии ТАС позволяет уменьшить парниковые газы на 33 % по сравнению с ГАС [8], а потребление энергии в технологическом процессе на 18 % [9].

Более низкая температура приготовления ТАС позволяет не только снизить энергозатраты, уменьшить парниковые выбросы и загрязнение окружающей среды, но и существенно увеличить время транспортировки асфальтобетонной смеси, что позволяет ее использовать на достаточно удаленных дорожных объектах [10, 11]. Таким образом, можно за счет увеличения времени на транспортировку, укладку и уплотнение асфальтобетонных смесей уменьшить количество асфальтобетонных заводов, которые будут обслуживать большую дорожную сеть. Положительный эффект, связанный с большей свободой выбора места размещения асфальтобетонного завода, дополняется, вследствие экологической безопасности технологического процесса, и возможностью его расположения рядом с жилыми районами.

Таким образом, технология применения ТАС для строительства и ремонта дорожных покрытий является весьма эффективной для восстановления и развития автодорожной сети в условиях САР, поскольку с ее помощью может быть решено большинство проблем [11].

Однако, несмотря на технико-экономический эффект, который обеспечивается при применении для дорожных работ теплых асфальтобетонных смесей, необходимо достижение требуемых характеристик прочности

и сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий, соответствующих климатической ситуации эксплуатации дорожной сети в Сирии.

В настоящее время для снижения температуры нагрева и смешивания при приготовлении теплых асфальтобетонных смесей используют химические или органические добавки, а также метод вспенивания вязкого нефтяного битума [2, 3]. Указанные методы позволяют за счет уменьшения трения между органическим вяжущим и минеральным заполнителем, а также за счет снижения вязкости указанного вяжущего проводить смешивание компонентов и достигать однородности смеси при более низких температурах [4]. Указанные технологические особенности могут привести к недостаточно высоким показателям прочности и сдвигоустойчивости асфальтобетона, и особенно, для применения в климатических условиях с высокими летними температурами, что характерно для восточных регионов Сирии. При применении ТАС с недостаточными показателями прочности асфальтобетона в области повышенных температур может произойти увеличенный износ и появление пластических деформаций верхних слоев дорожного покрытия.

Институт асфальта США рекомендует применять модифицированные ТАС, что способствует продлению срока службы асфальтобетонного покрытия [12].

В работе [13] изучена возможность улучшения физико-механических показателей асфальтобетонных смесей, предназначенных для условий Сирийской Арабской Республики, и определена модифицирующая добавка для улучшения характеристик теплого асфальтобетона в течение срока его службы в дорожном покрытии. Доказано, что применение модификатора термоэластопласт резиновый РТЭП-М улучшает механические свойства теплого асфальтобетона при его введении в количестве 1,5 % от массы минеральных материалов. При применении РТЭП-М предел прочности при сжатии образцов модифицированного асфальтобетона в сравнении с контрольным составом (без модификатора) увеличивается на 29 % при температуре 20 °С и соответственно на 17 % при температуре 50 °С.

Свойства теплых асфальтобетонных смесей могут подходить для условий одного региона и не подходить для условий другого. Например, в Сирийской Арабской Республике как высокие летние температуры, так и зимние существенно отличаются на востоке и западе страны по величине и по продолжительности. Проведенным анализом литературных источников¹⁻³ была составлена схема районирования САР по продолжительности и величине летних и зимних температур (рисунок).

Для оценки долговечности теплого асфальтобетона в условиях восточных регионов САР, отличающихся высокими летними температурами, был

¹ Temperature statistics in different regions of the Syrian Arab Republic in previous years – The General Directorate of Meteorology in the Syrian Arab Republic. URL: <https://www.facebook.com/Meteo.sy/>

² Simulated historical climate & weather data for Syria. URL: https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/climatemodelled/damascus_syria_170654

³ World Weather Archive and Climate – Weather in Syria. URL: <https://world-weather.info/>

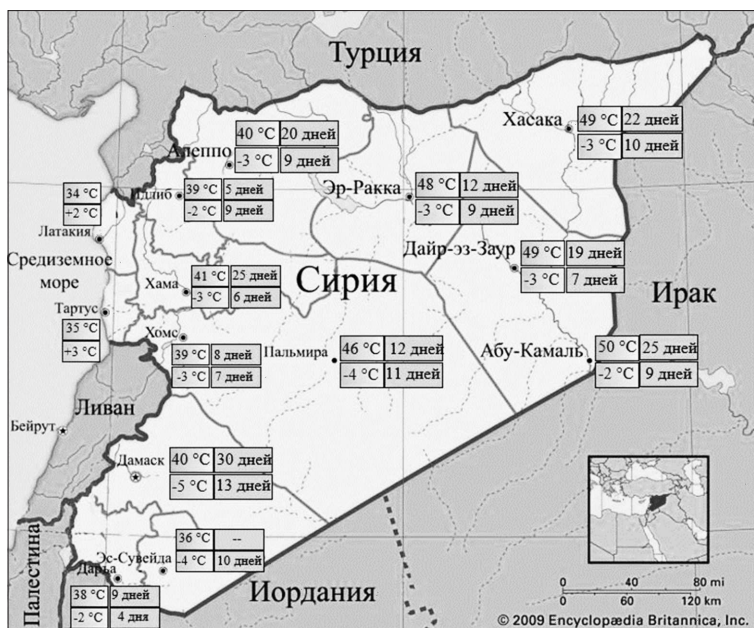


Схема районирования САР по продолжительности и величине летних и зимних температур

проведен эксперимент. Теоретической основой методики исследования долговечности теплого асфальтобетона послужили результаты ранее проведенных исследований по климатическому старению композиционных материалов как в лабораторных условиях, так и с помощью натурной экспозиции образцов в различных климатических зонах [14–17].

Полученные в вышеуказанных работах экспериментальные результаты определяют наиболее агрессивные виды воздействия, приводящие к интенсивному климатическому старению полимерных материалов, максимальную температуру воздуха, которая может оставаться длительное время постоянной либо изменяться. Климатическое старение затрагивает, в первую очередь, поверхностные слои композитов, что создает градиент свойств материала по его конструктивной толщине. Под воздействием интенсивных температур за 1 год поражается слой толщиной 50–150 мкм, а после 5 лет – до 1–2 мм [16, 17].

Известно, что асфальтобетоны на основе маловязких органических вяжущих являются недостаточно устойчивыми к климатическому старению. Поэтому моделирование в лабораторных условиях климатического старения сравнимых составов асфальтобетонных смесей, отличающихся компонентным составом, за один условный год эксплуатации позволяет получить достоверный результат их долговечности [18–20].

В качестве наиболее суровых по температурному воздействию регионов САР были приняты восточные провинции страны¹⁻³. Лабораторные условия моделировали следующие этапы климатического температурного старения:

1-й этап – теплый весенний и начальный летний период – 70 дней при температуре 45 °С;

2-й этап – наиболее жаркий летний период – 10 дней при температуре 60 °С;

3-й этап – теплый период завершения лета и теплая осень – 60 дней при температуре 50 °С;

4-й этап – короткий наиболее холодный период – 10 дней при температуре –3 °С.

Итого 150 дней испытания, которые приняты за один условный год эксплуатации. Остальные дни календарного года восточных регионов САР характеризуются температурами от 5 до 25 °С, что является недостаточным для развития процесса температурного старения.

Для эксперимента были приготовлены два состава теплой асфальтобетонной смеси. Минеральная часть всех составов смесей содержала 41 % гранитного щебня М1000, 53 % песка из отсевов дробления гранита и 6 % неактивированного известнякового минерального порошка. В качестве исходного органического вяжущего был принят нефтяной битум марки БНД 70/100, произведенный в ООО «РНПК». В указанный битум была введена органическая добавка (разжижитель) для получения требуемого дорожного вяжущего марки БНД 200/300, которое использовали при приготовлении теплой асфальтобетонной смеси. Содержание вяжущего составляло 5 % от минеральной части асфальтобетонной смеси.

Свойства компонентов и приготовленной асфальтобетонной смеси соответствовали требованиям нормативно-технической документации. Контрольная смесь не содержала модификатора, в другую смесь была введена в количестве 1,5 % по массе от минеральной части модифицирующая добавка термоэластопласт резиновый РТЭП-М, состоящая из тонкодисперсной резиновой крошки, полиэтилена, минерального порошка, подготовленного битума, антиоксиданта и других компонентов.

Результаты проведенного эксперимента показаны в табл. 1, 2.

При рассмотрении полученных зависимостей было отмечено, что произошло незначительное изменение массы образцов теплого модифицированного асфальтобетона и контрольного состава после климатического старения за один условный год эксплуатации. Таким образом, поверхностные слои теплого асфальтобетона, как наиболее подверженные температурному воздействию, показали достаточно высокую устойчивость.

Результаты изменения физико-механических показателей теплого асфальтобетона после всех этапов климатического старения показывают увеличение прочности теплого асфальтобетона. Наблюдается существенный прирост показателей предела прочности при сжатии при температурах 0, 20 и 50 °С как для контрольного, так и для модифицированного состава асфальтобетона. При этом модифицированный состав асфальтобетона показал меньшую зависимость предела прочности при сжатии от температуры в сравнении с контрольным составом для исходных значений и после всех этапов климатического старения. Так, коэффициент температурной чувствительности теплого модифицированного асфальтобетона с первоначального значения 4,5 уменьшился до 3,6, а контрольного состава с 4,7 до 4,2. Несущественная вариация показателя предела прочности при сжатии при температурах от 0 до 50 °С свидетельствует о низкой вероятности образования

Таблица 1. Зависимость изменения массы теплого асфальтобетона от этапов климатического старения

Образец	Масса образца исходная	Изменение массы образца, %, на этапе старения				
		1	2	3	4	5
Контрольный состав						
I	692,86	0	-0,006	-0,006	-0,019	-0,032
II	698,69	0	-0,003	-0,003	0,009	-0,019
III	694,98	0	-0,001	-0,001	-0,010	-0,012
IV	692,22	0	-0,004	-0,004	-0,012	-0,013
V	694,72	0	-0,007	-0,007	-0,019	-0,020
VI	695,99	0	-0,001	-0,001	-0,009	-0,010
VII	695,02	0	-0,003	-0,003	-0,016	-0,019
VIII	694,71	0	-0,001	-0,001	-0,014	-0,023
IX	694,77	0	-0,003	-0,003	-0,013	-0,024
X	694,71	0	-0,003	-0,003	-0,004	-0,007
XI	696,28	0	-0,003	-0,003	-0,003	-0,007
XII	691,88	0	-0,001	-0,001	-0,012	-0,019
Среднее значение за все этапы старения						-0,017
Модифицированный асфальтобетон						
1	696,10	0	-0,004	-0,004	-0,011	-0,016
2	691,50	0	-0,004	-0,004	-0,012	-0,012
3	694,34	0	-0,006	-0,006	-0,014	-0,016
4	691,97	0	-0,006	-0,006	-0,013	-0,020
5	692,96	0	-0,004	-0,004	-0,009	-0,009
6	693,61	0	-0,003	-0,003	-0,013	-0,013
7	692,11	0	-0,004	-0,004	-0,010	-0,013
8	693,60	0	-0,006	-0,006	-0,017	-0,016
9	694,85	0	-0,004	-0,004	-0,014	-0,014
10	696,29	0	-0,004	-0,004	-0,017	-0,019
11	696,07	0	-0,004	-0,003	-0,010	-0,011
12	696,12	0	-0,004	-0,004	-0,013	-0,013
Среднее значение за все этапы старения						-0,014

Таблица 2. Зависимость изменения физико-механических показателей тепло-го асфальтобетона от этапов климатического старения

Показатель	Контрольный состав		Модифицированный асфальтобетон	
	исходное значение	после старения	исходное значение	после старения
Средняя плотность, г/см ³	2,39	2,40	2,32	2,35
Водонасыщение, %	2,70	2,46	3,40	2,53
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа	1,20	1,46	1,4	2,0
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа	2,3	3,0	3,0	3,8
Предел прочности при сжатии при температуре 0 °С, МПа	5,60	6,18	6,3	7,2
Коэффициент водостойкости	1,0	0,95	0,99	0,99
Коэффициент температурной чувствительности	4,7	4,2	4,5	3,6

пластических дефектов на дорожных покрытиях из модифицированного тепло-го асфальтобетона. Отметим, что показатель предела прочности при сжатии при температуре 50 °С у модифицированного состава существенно выше, в сравнении с контрольным составом тепло-го асфальтобетона.

Показатели физических свойств тепло-го модифицированного асфальто-бетона (средняя плотность, водонасыщение) и контрольного состава после всех этапов климатического старения изменились незначительно. Можно отметить незначительное снижение показателя водонасыщения модифициро-ванного состава на величину менее 1 %, что, вероятно, свидетельствует об увеличении количества замкнутых пор в граничных областях образцов мате-риала после длительного температурного воздействия.

Выводы. Исследованием показана целесообразность и эффективность применения тепло-го асфальтобетона для устройства дорожных покрытий в жарком и сухом климате восточных регионов САР. Установлен существенный прирост показателей предела прочности при сжатии при температу-рах 0, 20 и 50 °С для контрольного состава и для модифицированного тепло-го асфальтобетона после климатического старения за один условный год эксплуатации. Установлено, что модифицированный состав тепло-го ас-фальтобетона показал меньшую зависимость показателя предела прочности при сжатии от температуры в сравнении с контрольным составом как для исходных значений, так и после всех этапов климатического старения. Это свидетельствует о низкой вероятности образования пластических дефектов на дорожных покрытиях из модифицированного тепло-го асфальтобетона

в жарком и сухом климате восточных регионов САР. В дальнейшем, учитывая положительные результаты проведенного исследования долговечности теплого асфальтобетона от климатического старения, необходимо определить область его применения для модифицированных и немодифицированных составов в зависимости климатических особенностей западных и восточных регионов САР, а также условий дорожного движения (транспортных нагрузок).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Capitzo S.D., Picado-Santos L.G., Martinho F.* Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt // *Constr. Build. Mater.* 2012. No. 36. P. 1016–1024.
2. EAPA. The use of warm mix asphalt, European Asphalt Pavement Association, Brussels. Belgium, 2010.
3. *Zaumanis M.* Warm mix asphalt investigation // Master of Science Thesis, Riga Technical University - Technical University of Denmark - Department of Civil Engineering, 2010. P. 111.
4. *Thom N.* Principles of pavement engineering. ICE Publishing. United Kingdom, 2014. P. 405.
5. *Гезенцевей Л.Б., Горельшиев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В.* Дорожный асфальтобетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
6. *Радовский Б.С.* Технология нового асфальтобетона в США // *Дорожная техника.* 2008. № 19. С. 24–28.
7. *Hurley G.C., Prowell B.D.* Evaluation of Aspha-min® zeolite for use in warm mix asphalt // National Center for Asphalt Technology (NCAT). NCAT Report 05-04. 2005. P. 35.
8. *Blankendaal T., Schuur P., Voordijk H.* Reducing the environmental impact of concrete and asphalt: a scenario approach // *Cleaner Prod.* 2013. No. 66. P. 27–36.
9. *Almeida-Costa A., Benta A.* Economic and environmental impact study of warm mix asphalt compared to hot mix asphalt // *J. Cleaner Prod.* 2016. No. 112. P. 2308–2317.
10. *Королев И.В.* Дорожный теплый асфальтобетон. Киев: Выща школа, 1975. 156 с.
11. *Алиахван А., Калгин Ю.И.* Актуальность применения теплых асфальтобетонных смесей для дорожного строительства в условиях Сирийской Арабской Республики // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.* 2020. № 2. С. 26–33.
12. *Zhao G., Guo P.* Workability of sasobit warm mixture asphalt // *International Conference on Future Energy, Environment, and Materials.* 2012. No. 16. P. 1230–1236.
13. *Алиахван А., Калгин Ю.И.* Улучшение структурно-механических свойств теплого асфальтобетона методом полимерно-дисперсного армирования // *Строительство и архитектура.* 2021. № 1. С. 53–61.
14. *Старцев О.В., Ерофеева В.Т., Селяева В.П.* Климатические испытания строительных материалов: Моногр. М.: Изд-во АСВ, 2017. 558 с.
15. *Ефимов В.А., Шведкова А.К., Коренькова Т.Г., Кириллов В.Н.* Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натуральных условиях // *Труды ВИАМ.* 2013. № 1. С. 5–11.
16. *Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н.* Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. Ч. 3: Значимые факторы старения // *Деформация и разрушение материалов.* 2011. № 1. С. 34–40.

17. *Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н.* Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. Ч. 2: Релаксация исходной структурной неравновесности и градиент свойств по толщине // Деформация и разрушение материалов. 2012. № 6. С. 17–19.
18. *Калгин Ю.И., Строчкин А.С., Тюков Е.Б.* Перспективные технологии строительства и ремонта дорожных покрытий с применением модифицированных битумов. Воронеж, 2014. 224 с.
19. *Калгин Ю.И.* Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов. Воронеж, 2006. 272 с.
20. *Руденский А.В., Калгин Ю.И.* Дорожные асфальтобетонные покрытия на модифицированных битумах / Воронеж. гос. архитектурно-строит. ун-т. Воронеж, 2009. 143 с.

Калгин Юрий Иванович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: kalgin36@yandex.ru
Воронежский государственный технический университет
Алшахван Аладдин, асп.; E-mail: alaaalaash@yahoo.com
Воронежский государственный технический университет

Получено 28.07.2021

Kalgin Yuriy Ivanovich, DSc, Proffesor; E-mail: kalgin36@yandex.ru
Voronezh State Technical University, Russia
Alshahwan Aladdin, Post-graduate Student; E-mail: alaaalaash@yahoo.com
Voronezh State Technical University, Russia

DURABILITY OF WARM MIX ASPHALT IN ASPHALT SURFACES IN CLIMATIC CONDITIONS OF THE SYRIAN ARAB REPUBLIC

The possibility of using warm mix asphalt has been considered for the rehabilitation of the road network with asphalt concrete pavement in the Syrian Arab Republic. The advantages have been noted for using warm mix asphalt as an alternative to hot mix asphalt. Technical problems that could reduce the efficiency of using warm asphalt on asphalt pavement have been revealed. The results of an experiment to study the effect of climatic aging on the properties of warm mix asphalt in the eastern regions of the Syrian Arab Republic have been presented. The expediency and efficiency of the use of warm modified mix asphalt for the construction of road surfaces in hot and dry climates has been shown.

Key words: Syrian Arab Republic, asphalt concrete, warm mix asphalt, road rehabilitation, climatic aging.

REFERENCES

1. *Capitzo S.D., Picado-Santos L.G., Martinho F.* Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt. Constr. Build. Mater. 2012. No. 36. Pp. 1016–1024.
2. EAPA. The use of warm mix asphalt, European Asphalt Pavement Association, Brussels. Belgium, 2010.
3. *Zaumanis M.* Warm mix asphalt investigation. Master of Science Thesis, Riga Technical University - Technical University of Denmark - Department of Civil Engineering, 2010. P. 111.

4. *Thom N.* Principles of pavement engineering. ICE Publishing. United Kingdom, 2014. P. 405.
5. *Gezentsvey L.B., Gorelyshev N.V., Boguslavskiy A.M., Korolev I.V.* Dorozhnyy asfal'tobeton [Road asphalt concrete]. Moscow, Transport, 1985. 350 p. (in Russian)
6. *Radovskiy B.S.* Tekhnologiya novogo asfal'tobetona v SShA [Technology of new asphalt concrete in the USA]. Dorozhnaya tekhnika [Road equipment]. 2008. No. 19. Pp. 24–28. (in Russian)
7. *Hurley G.C., Prowell B.D.* Evaluation of Aspha-min® zeolite for use in warm mix asphalt. National Center for Asphalt Technology (NCAT). NCAT Report 05-04. 2005. P. 35.
8. *Blankendaal T., Schuur P., Voordijk H.* Reducing the environmental impact of concrete and asphalt: a scenario approach. Cleaner Prod. 2013. No. 66. Pp. 27–36.
9. *Almeida-Costa A., Benta A.* Economic and environmental impact study of warm mix asphalt compared to hot mix asphalt. J. Cleaner Prod. 2016. No. 112. Pp. 2308–2317.
10. *Korolev I.V.* Dorozhnyy teplyy asfal'tobeton [Road warm asphalt concrete]. Kiev, 1975. 156 p. (in Russian)
11. *Alshahwan A., Kalgin Yu.I.* Aktualnost' primeneniya teplykh asfal'tobetonnykh smesey dlya dorozhnogo stroitel'stva v usloviyakh Siriyskoy Arabskoy Respubliki [The relevance of the use of warm asphalt concrete mixtures for road construction in the Syrian Arab Republic]. Vestnik BGTU [Bulletin of BSTU im. V.G. Shukhov]. 2020. No. 2. Pp. 26–33. (in Russian)
12. *Zhao G., Guo P.* Workability of sasobit warm mixture asphalt. International Conference on Future Energy, Environment, and Materials. 2012. No. 16. Pp. 1230–1236.
13. *Alshahwan A., Kalgin Yu.I.* Uluchsheniye strukturno-mekhanicheskikh svoystv teplogo asfal'tobetona metodom polimerno-dispersnogo armirovaniya [Improving the structural and mechanical properties of warm asphalt concrete by the method of polymer-dispersed reinforcement]. Stroitel'stvo i arkhitektura [Building and Architecture]. 2021. No. 1. Pp. 53–61. (in Russian)
14. *Startsev O.V., Erofeeva V.T., Selyaeva V.P.* Klimaticheskiye ispytaniya stroitel'nykh materialov: Monografiya [Climatic testing of building materials: Monograph]. Moscow: Publishing house ASV, 2017. 558 p. (in Russian)
15. *Efimov V.A., Shvedkova A.K., Korenkova T.G., Kirillov V.N.* Issledovaniye polimernykh konstruktsionnykh materialov pri vozdeystvii klimaticheskikh faktorov i nagruzok v laboratornykh i naturnykh usloviyakh [Investigation of polymer structural materials under the influence of climatic factors and loads in laboratory and natural conditions]. Trudy VIAM [Proceedings of VIAM]. 2013. No. 1. Pp. 5–11. (in Russian)
16. *Kablov E.N., Startsev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N.* Klimaticheskoye starenie kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya. Chast' 3: Znachimyye faktory stareniya [Climatic aging of composite materials for aviation purposes. Part 3: Significant factors of aging]. Deformatsiya i razrusheniye materialov [Deformation and destruction of materials]. 2011. No. 1. Pp. 34–40. (in Russian)
17. *Kablov E.N., Startsev O.V., Krotov A.S., Kirillov V.N.* Klimaticheskoye starenie kompozitsionnykh materialov aviatsionnogo naznacheniya. Chast' 2: Relaksatsiya iskhodnoy strukturnoy neravnovesnosti i gradiyent svoystv po tolshchine [Climatic aging of composite materials for aviation purposes. Part 2: Relaxation of the initial structural nonequilibrium and the gradient of properties over thickness]. Deformatsiya i razrusheniye materialov [Deformation and destruction of materials]. 2012. No. 6. Pp. 17–19. (in Russian)

18. *Kalgin Yu.I., Strokin A.S., Tyukov E.B.* Perspektivnyye tekhnologii stroitel'stva i remonta dorozhnykh pokrytiy s primeneniym modifitsirovannykh bitumov [Promising technologies for the construction and repair of road surfaces using modified bitumen]. Voronezh, 2014. 224 p. (in Russian)
 19. *Kalgin Yu.I.* Dorozhnyye bitumomineral'nyye materialy na osnove modifitsirovannykh bitumov [Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen]. Voronezh, 2006. 272 p. (in Russian)
 20. *Rudenskiy A.V., Kalgin Yu.I.* Dorozhnyye asfal'tobetonnyye pokrytiya na modifitsirovannykh bitumakh [Road asphalt concrete pavements on modified bitumen]. Voronezh, 2009. 143 p. (in Russian)
-