

publication/354536878\_Issledovanie\_poristosti\_penobetonov\_na\_osnove\_slakoselocnogo\_vazusego, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

12. Кузьменков М. И. Пути сушки газосиликатных блоков / М. И. Кузьменков, О. Г. Мартинов // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения : материалы 10-й Международной научно-практической конференции. Минск – Могилев, 29–31 мая 2018 г. / под ред. Н. П. Сажнева и др. – Минск : А. Н. Ваксин, 2018. – С. 60–67. – Режим доступа: <https://euroaerobeton.ru/wp-content/uploads.pdf>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

13. Перегудов В. В. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и конструкций : учебник / В. В. Перегудов, М. И. Роговой. – Москва : Стройиздат, 1983, – 416 с.

14. Еремин И. Ф. Процессы и аппараты в технологии строительных материалов : учебник / И. Ф. Еремин. – Москва : Высшая школа, 1986, – 280 с.

15. Касаткин А. Н. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник / А. Н. Касаткин. – 10-е изд., стереот., дораб. – Москва : Альянс, 2004. – 750 с.

16. Cieřlikiewicz Ł. Experimental investigation of the influence of the relative humidity of air on the drying process of porous building materials / Ł. Cieřlikiewicz, P. Łapka, M. Kubiř, M. Wasik, K. Pietrak, P. Furmański, M. Seredyński, T. Wiřniewski // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Issue 660 (1). – P. 012025. – DOI: 10.1088/1757-899X/660/1/012025.

17. Wasik M. Numerical investigation of influence of the temperature and relative humidity of air on the drying process of porous building / M. Wasik, P. Łapka, Ł. Cieřlikiewicz, M. Seredyński, P. Furmański, K. Pietrak, M. Kubiř, T. Wiřniewski, M. Jaworski / OP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Issue 660 (1). – P. 012020. – DOI: 10.1088/1757-899X/660/1/012020.

18. Жилин А. А. Изучение динамики сушки ячеистого газобетона / А. А. Жилин, А. В. Федоров. 2017. – С. 60–62. – Режим доступа: [http://conf.nsc.ru/files/conferences/dms15/418408/060\\_062.pdf](http://conf.nsc.ru/files/conferences/dms15/418408/060_062.pdf), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

19. Zhilin A. A. Acoustic-convective drying of aerated cellular concrete / A. A. Zhilin, A. V. Fedorov // Dynamics of Multiphase Media AIP Conf. Proc. XV All-Russian Seminar (DMM2017, 3–5 October 2017, Novosibirsk, Russia). – 1939. – P. 020014-1–020014-10. – <https://doi.org/10.1063/1.5027326>.

20. Ramamurthy K., Narayanan N. Influence of composition and curing on drying shrinkage of aerated concrete / K. Ramamurthy, N. Narayanan / Materials and Structures. – May 2000. – Vol. 33, – P. 243–250. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/225827045\\_Influence\\_of\\_composition\\_and\\_curing\\_on\\_drying\\_shrinkage\\_of\\_aerated\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/225827045_Influence_of_composition_and_curing_on_drying_shrinkage_of_aerated_concrete), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

21. Nawalany G. Influence of selected parameters of autoclaved aerated concretes on their drying / G. Nawalany, P. Sokolowski, P. Herbut, S. Angrecka // Nr III/1/2017, Polish academy of sciences, Cracow Branch, – P. 977–985. – Режим доступа: [http://www.infraeco.pl/pl/art/a\\_18355.htm?plik=2124](http://www.infraeco.pl/pl/art/a_18355.htm?plik=2124), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

© А. А. Мухамедбаев

#### Ссылка для цитирования:

Мухамедбаев А. А. Исследование сушки водонасыщенного автоклавного газобетона // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 33–39.

УДК 625.85

DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-39-44

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ И ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

*Д. Х. Исенбулатова, И. А. Ефремов, Н. А. Лушников, Д. Ю. Небрятенко, С. В. Алексигов*

**Исенбулатова Диляра Хайдаровна**, магистрант, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (960) 851-34-34; e-mail: [disenbulatova@uprdorkaspiy.ru](mailto:disenbulatova@uprdorkaspiy.ru);

**Ефремов Иван Александрович**, начальник отдела контроля качества, Управление федеральных автомобильных дорог «Каспий», г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (937) 502-39-62; e-mail: [efremov.ivan@mail.ru](mailto:efremov.ivan@mail.ru);

**Лушников Николай Александрович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 224-19-64; e-mail: [lab10@mail.ru](mailto:lab10@mail.ru);

**Небрятенко Дмитрий Юрьевич**, кандидат химических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты», Российский университет транспорта (РУТ МИИТ), г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (916) 936-35-81; e-mail: [nebratenko@mail.ru](mailto:nebratenko@mail.ru), ORCID 0000-0002-3607-8876



**Алексиков Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительства и эксплуатации транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел: + 7 (969) 287-85-61; e-mail: 34rus@mail.ru

На современном этапе развития дорожно-строительной отрасли в России существенное внимание уделяется постоянному совершенствованию компонентного состава асфальтобетонных смесей. Таким образом можно существенно улучшить как технологические свойства асфальтобетонных смесей, так и эксплуатационные показатели покрытий. Одним из вариантов таких передовых типов покрытий является щебеночно-мастичный асфальтобетон. Верхний слой дорожного покрытия, получающийся в случае формирования из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, характеризуется комфортными и безопасными ездовыми качествами, а образующаяся текстура отличается повышенной шероховатостью и способностью поглощать шум, образующийся при движении транспортных средств. Поэтому в данном исследовании проведено сопоставление основных показателей щебеночно-мастичных смесей, изготовленных с применением вяжущих различного состава. Показано, что все составы удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020 по испытанным показателям.

**Ключевые слова:** щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь, полимерно-битумное вяжущее, комплексный модификатор асфальтобетона «Руббермастик».

## THE EFFECT OF THE COMPOSITION OF MODIFIED AND POLIMER-MODIFIED BITUMEN ON THE TECHNICAL PARAMETERS OF CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT MIXTURES

*D. Kh. Isenbulatova, I. A. Yefremov, N. A. Lushnikov, D. Yu. Nebratenko, S. V. Aleksikov*

**Isenbulatova Dilyara Khaydarovna**, undergraduate, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (960) 851-34-34; e-mail: disenbulatova@uprdorkaspiy.ru;

**Yefremov Ivan Aleksandrovich**, Head of the Quality Control Department, Administration of Federal highways "Kaspiy", Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (937) 502-39-62; e-mail: efremov.ivan@mail.ru;

**Lushnikov Nikolay Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences, Head of Highways, Airfields, Foundations and Foundations Department, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (915) 224-19-64, e-mail: lab10@mail.ru;

**Nebratenko Dmitriy Yuryevich**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Highways, airfields, foundations and foundations Department, Russian University of Transport (RUT MIIT), Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (916) 936-35-81, e-mail: nebratenko@mail.ru, ORCID 0000-0002-3607-8876;

**Aleksikov Sergey Vasilyevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Construction and Operation of Transport Structures Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (969) 287-85-61; e-mail: 34rus@mail.ru

At the present stage of development of the road construction industry in Russia, significant attention is paid to the continuous improvement of the component composition of asphalt concrete mixtures. Thus, it is possible to significantly improve both the technological properties of asphalt concrete mixtures and the operational properties of coatings. One of the options for such advanced types of coatings is crushed stone-mastic asphaltic concrete. The surface of the coatings, obtained in the case of their formation from crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures, is characterized by comfortable and safe driving qualities, and its texture is characterized by roughness and the ability to absorb noise when moving vehicles. Therefore, in this study, a comparison of the main indicators of crushed stone-mastic mixtures made using binders of various compositions was carried out. It is shown that all the studied compositions meet the requirements of GOST R 58406.1-2020 in terms of test parameters.

**Keywords:** crushed stone-mastic asphalt concrete mixture, polymer-modify bitumen, complex asphalt concrete modifier "Rubbermastic".

### Введение

Щебеночно-мастичный асфальтобетон известен как необычайно популярный в последние годы дорожно-строительный композиционный материал. Благодаря значительной износоустойчивости таких дорожных покрытий на высоконагруженных автомобильных трассах и особенно на ответственных объектах гражданского и военного назначения, он обоснованно завоевал свое достойное место как в России, так и за рубежом. Появление такого рода материала стало итогом борьбы с интенсивным разрушением сплошности дорожного полотна под действием все возрастающих разнонаправленных нагрузок в результате движения большегрузных транспортных средств

и увеличения скорости передвижения автомобилей. Традиционно это приводило к образованию в покрытии динамической колеи или колеи уноса, что существенно усложняло управляемость транспорта и вело к непроизводительным затратам на содержание автодорог.

Известно, что щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) в конце 60-х годов был разработан в Германии и начал широко применяться под названием "Splittmastixasphalt" (SMA) [1, 2].

Среди особенностей используемых сегодня составов ЩМА следует отметить повышенное количество материала, являющегося заполнителем между слоями битумного вяжущего, окклюдируемого на поверхности щебенистых компонентов и улучшающего деформационные свойства

итогового покрытия, а также его способность противостоять растягивающим напряжениям. Кроме того, каркасная щебенчатая структура формирует жесткий остов по всему объему асфальтобетона, что обеспечивает высокую сопротивляемость пластическим сдвиговым деформациям.

В ходе проведенных ранее многочисленных исследований было определено, что для повышения качественного компонентного состава дорожных покрытий необходимо, чтобы он был четко сбалансирован, а процессы укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей проводились в соответствии с существующими технологическими регламентами [3–5].

С целью повышения долговечности асфальтобетонного покрытия из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей в составе используемых вяжущих применяются различные модифицирующие добавки, в том числе полимерные. Наиболее широкое распространение получили полимеры класса синтетические термоэластопласты, известные как СБС-полимеров или бутадиен-стирольные термоэластопласты [6–9]. Их использование позволяет обеспечить снижение образования колеи в верхнем слое покрытия, заметно повысить сдвигоустойчивость и их трещиностойкость покрытий, а также улучшить сопротивление дорожных покрытий усталостному разрушению [3, 5, 8].

При этом очевидно неоднозначное влияние тех или иных вариантов модификации битумных вяжущих на итоговые свойства асфальтобетонов. Поэтому в рамках проведения работ и оценки предлагаемых к применению вяжущих в лаборатории отдела контроля качества Управления федеральных автомобильных дорог «Каспий», совместно с профильными российскими транспортными вузами, был проведен комплекс исследований по оценке влияния компонентного состава вяжущих с разными модификаторами на качественные показатели щебеночно-мастичных смесей ЩМА-16.

#### Материалы и методы исследования

При подборе состава щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМА-16 использовались щебенчатые материалы следующих фракций, произведенные в Краснодарском крае (г. Лабинск):

- щебень из горных пород фракции – 8–16 мм;
- щебень из горных пород фракции – 4–8 мм;
- песок дробленый фракции – 0–4 мм.

В качестве фракции с максимальным значением удельной поверхности частиц был использован активированный минеральный порошок МП-1 (г. Воронеж).

Указанные минеральные компоненты асфальтобетонных смесей были испытаны на соответствие требованиям ГОСТ Р 58406.1-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смесей щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия» (рис. 1).



Рис. 1. Испытания исходных минеральных материалов

В качестве органических связующих в составе рассматриваемых асфальтобетонных смесей были использованы как битумы нефтяные дорожные вязкие марки БНД 50/70, соответствующие ГОСТ 33133-2014, так и хорошо известные полимерно-битумные вяжущие (ПБВ), соответствующие ГОСТ Р 52056-2003 (рис. 2) [9–12], основные параметры которых представлены в таблице 1.



Рис. 2. Испытания органических вяжущих

Результаты испытаний исходных минеральных материалов и органических вяжущих подтвердили их соответствие требованиям действующей нормативно-технической документации.

В качестве модификатора свойств асфальтобетона, приготовленного с использованием БНД 50/70, был применен комплексный модификатор «Руббермастик» ПГ, соответствующий требованиям СТО 25209126-002-2020 компании-производителя [13]. Комплексный модификатор асфальтобетона (модификатор КМА) – это цилиндрические серо-коричневые гранулы длиной от 5 до 20 мм и диаметром порядка 4–5 мм [14]. Технические показатели комплексного модификатора представлены в таблице 2.

В случае применения в качестве вяжущего ПБВ 60 при приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМА-16 в условиях лаборатории проводилось традиционным образом и не вызвало дополнительных затруднений [2, 8, 14–16].

Таблица 1

**Физико-механические показатели вяжущих**

Наименование показателя	БНД 50/70		ПБВ 60	
	Требования ГОСТ 33133-2014	Фактические значения	Требования ГОСТ Р 52056-2003	Фактические значения
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25 °С	51–70	55	не менее 60	71
Глубина проникания иглы 0,1 мм при 0 °С	не менее 18	–	не менее 32	32
Растяжимость при 25 °С, см	не менее 60	–	не менее 25	93
Растяжимость при 0 °С, см	не менее 3,5	3,6	не менее 11	15
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	не ниже 51	55	не менее 54	70
Температура хрупкости, °С	не выше –16	–19	не менее –20	–20
Температура вспышки, °С	не ниже 230	306	не ниже 230	более 270
Изменение массы образца после старения, %	не более 0,6	0,3	–	–
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	–	–	не более 5	4
Эластичность при 25 °С, %	–	–	не менее 80	92
Эластичность при 0 °С, %	–	–	не менее 70	71

Таблица 2

**Технические показатели комплексного модификатора**

Наименование показателя	Требования СТО	Фактические значения
Диаметр гранул, мм	4–12	4
Длина гранул, мм	5–20	10
Цвет	серый (коричневый)	соответствует
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	не нормируется	1,2
Влажность, %	не более 5	3,8
Содержание технологической мелочи, %	не более 10	2,5
Масляный показатель, мин.	не менее 4	3

При замесе с использованием модификатора КМА его введение в количестве 0,5 % от массы минеральных материалов проводилось на третьей стадии процесса. Сначала каменные материалы выбранного фракционного состава разогревались до температуры 180 °С, и исходная смесь перемешивалась в течение 10 сек, затем – в течение 40 сек. На горячий каменный материал подавался комплексный модификатор КМА. Далее следовало введение активированного минерального порошка с последующим перемешиванием в течение 20 сек., и окончательное смешение компонентов композиции после введения битума нефтяного дорожного вязкого при температуре порядка 170 °С.

В итоге для проведения сопоставительных испытаний в лабораторных условиях отдела контроля качества были получены следующие составы.

Лабораторный замес № 1: щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь ЩМА-16 на полимерно-битумном вяжущем ПБВ 60 (4,8 % от массы смеси) с использованием стабилизирующей добавки (0,45 % от массы смеси).

Лабораторный замес № 2: щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь (ЩМАС) ЩМА-16 на битумном вяжущем БНД 50/70 (5,0 % от массы смеси)

с использованием в составе комплексного модификатора (0,5 % от массы смеси).

Результаты испытаний образцов ЩМАС различного состава представлены в таблице 3 (рис. 3 и 4).



Рис. 3. Определение объемной плотности образцов из щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей



Рис. 4. Определение стойкости образцов ЩМА разного состава к образованию колеи

**Результаты испытаний образцов щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей различного состава**

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 58406.1	Факт для замеса № 1	Факт для замеса № 2	НТД на методы испытаний
Объемная плотность минерального заполнителя, г/см <sup>3</sup>	не норм.	2,739	2,739	ГОСТ Р 58406.10
Объемная плотность асфальтобетонной смеси, г/см <sup>3</sup>	не норм.	2,392	2,400	ГОСТ Р 58401.10
Максимальная плотность асфальтобетонной смеси, г/см <sup>3</sup>	не норм.	2,514	2,515	ГОСТ Р 58401.16
Содержание воздушных пустот, %	3,9± 1,2* (от 2,7 до 5,1)	5,0	4,6	ГОСТ Р 58401.8
Пустоты в минеральном заполнителе, %	не менее 16	16,7	16,5	ГОСТ Р 58406.10
Стекание вяжущего, %	не более 0,2	0,02	0,03	ГОСТ Р 58406.1
Средняя глубина колеи, мм	не более 4,0	0,74	0,94	ГОСТ Р 58406.3
Угол наклона кривой колееобразования, мм/1000 циклов	не более 0,15	0,02	0,02	ГОСТ Р 58406.3

*Примечание:* \* – величина требуемого значения воздушных пустот в испытываемых щебеночно-мастичных смесях взята по данным ранее согласованного и воспроизведенного в лабораторных условиях состава асфальтобетонной смеси.

Анализируя результаты полученных в ходе исследования данных, можно сделать вывод об определенных преимуществах смеси ЩМА-16 на полимерно-битумном вяжущем, приготовленном при сухом способе введения КМА в состав асфальтобетонной смеси. Так, при одинаковом значении угла наклона кривой колееобразования за 100 циклов, использование КМА приводит к увеличению образования колеи на 20–22 % в сравнении с ЩМА-16 на ПБВ 60. Однако и в первом, и во втором случаях полученные средние значения глубины колеи не превышают предельных значений, установленных в ГОСТ Р 58406.1-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смесей щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия».

При этом процентное содержание воздушных пустот при наличии КМА на 8,7 % меньше, чем в случае использования в качестве вяжущего ПБВ 60. Однако необходимо констатировать, что величины данного показателя, установленные в ходе настоящего исследования, не превышают значение предельного отклонения от требуемой величины воздушных пустот, взятое по результатам испытаний ранее согласованного и воспроизведенного в лабораторных условиях состава асфальтобетонной смеси.

Таким образом, проведенные испытания показали, что оба лабораторных замеса удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 58406.1-2020 по испытанным показателям.

**Заключение**

В условиях реальной производственной лаборатории проведена оценка эффективности применения в составе щебеночно-мастичных смесей вяжущих различного состава.

Установлено, что использование полимерно-битумного вяжущего в случае ЩМА-16 характеризуется пониженным колееобразованием (порядка 20 %) в сравнении с вариантом применения КМА в составе ЩМС исследованного состава.

Показано, что с целью снижения содержания воздушных пустот в составе щебеночно-мастичной смеси целесообразно применять комплексный модификатор, поскольку при наличии КМА содержание воздушных пустот на 8,7 % меньше, чем для варианта использования ПБВ.

Важно отметить, что полученные материалы на основе различных составов, соответствуют требованиям действующей нормативно-технической документации и могут рассматриваться для широкого применения на дорожных объектах в южных регионах страны [18, 19].

**Список литературы**

1. Splittmastixasphalt Dr.-Ing. K. H. Kolb die Herren H. Erhard, F. Hoggenmuller, O. Kast und andere / LEITFADEN. Deutscher Asphaltverband (DAV). – 27 p.
2. Кирюхин Г. Н. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона / Г. Н. Кирюхин, Е. А. Смирнов. – Чебоксары : Чебоксарская типография № 1, 2009. – 102 с.
3. Симчук Е. Н. Совершенствование подходов и методов оценки физических и эксплуатационных свойств дорожного асфальтобетона в России / Е. Н. Симчук, К. А. Жданов, И. А. Дедковский // Дороги и мосты. – 2021. – № 1 (45). – С. 181–221.
4. Ядыкина В. В. Водо- и морозостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном сэвиленом / В. В. Ядыкина, С. Н. Наволокина, А. М. Гридчин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 1(83). – С. 102–113. – doi.org/10.26518/2071-7296-2021-19-1-102-113.

5. Евдокимова Н. Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов как нефтяных дисперсных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н. Г. Евдокимова. – Москва : Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина, 2015. – 417 с.
6. Гужов С. А. Эффективность применения полимерно-битумных вяжущих на объектах НП «БКАД» / С. А. Гужов, А. Б. Санакулов, В. В. Лебедев, Д. Ю. Небратенко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 12 (109). – С. 60–68. – doi.org/10.30987/1999-8775-2021-12-60-682022.
7. Alekseenko V. Rheology properties of bitumen binders with various fillers / V. Alekseenko, E. Verkhoturova, R. Zhitov, D. Nebratenko // Vojnotehnicki glasnik, – 2024. – Vol. 72 (2). – P. 695–707. – doi.org/10.5937/vojtehg72-48380.
8. Гохман Л. М. Дорожный полимерасфальтобетон / Л. М. Гохман. – Москва : Экон-Информ, 2017. – 477 с.
9. ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия. – Дата введения 2004–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 8 с.
10. ГОСТ 33133-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования. – Дата введения 2015–10–01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 12 с.
11. Паспорт № 1821/2024 от 05.06.2024 на битум нефтяной дорожный вязкий БНД 50/70.
12. Паспорт качества № 1826 от 29.06.2024 на полимерно-битумное вяжущее ПБВ 60.
13. Паспорт №7/01-24 от 30.06.2024 на комплексный модификатор асфальтобетона «Руббермастик» ПГ.
14. Самсонов И. В. Практико-инновационные решения в сфере дорожного покрытия с применением модифицированной добавки VECTORUBER / И. В. Самсонов, С. В. Алексиков // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы конференции молодых исследователей, Волгоград, 2021 г. – Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. – 439 с.
15. Бузиков Ш. В. Исследование эффективности применения уплотняющих машин при формировании дорожных покрытий с учетом напряженно-деформированного состояния асфальтобетонных слоев / Ш. В. Бузиков, М. В. Мотовилова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 22–27. – DOI 10.52684/2312-3702-2022-41-3-27-31.
16. Лаврухин В. П. Усталостная долговечность асфальтобетонов на модифицированных битумах / В. П. Лаврухин, Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев // Вестник Мордовского университета. – 2001. – № 3-4. – С. 128–135.
17. Guo F. Wang Study on Adhesion Property and Moisture Effect between SBS Modified Asphalt Binder and Aggregate Using Molecular Dynamics Simulation / F. Guo, J. Pei, J. Zhang, R. Li, P. Liu, D. // Materials. – 2022. – № 15 (19). – P. 6912. – doi.org/10.3390/ma15196912.
18. Xu W.. Using an anti-aging agent to improve asphalt modified with styrene-butadiene-styrene / W. Xu, et al. // Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport. – 2022. – Vol. 175. – P. 115–124.
19. Рожков И. М. Современные подходы при прогнозировании температурных условий эксплуатации асфальтобетонных конструктивных слоев дорожных одежд / И. М. Рожков, Е. Н. Симчук // Дороги России. – 2020. – № 3 (117). – С. 55–71.

© Д. Х. Исенбулатова, И. А. Ефремов, Н. А. Лушников, Д. Ю. Небратенко, С. В. Алексиков

#### Ссылка для цитирования:

Исенбулатова Д. Х., Ефремов И. А., Лушников Н. А., Небратенко Д. Ю., Алексиков С. В. Влияние состава модифицированных и полимерно-битумных вяжущих на технические показатели щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 39–44.

УДК 624.042.7

DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-44-52

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО НАГРУЖЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ.

### Часть 2

*А. В. Синельщиков, Р. А. Завьялов*

**Синельщиков Алексей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: laex@bk.ru;

**Завьялов Роман Александрович**, магистрант, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: 39bazaz@gmail.com

Работа направлена на совершенствование динамических методов расчета промышленных зданий с переменными эксплуатационными состояниями, связанными с наличием внутри них мостовых ранов большой грузоподъемности и их работой. Рассмотрена симметричная для промышленного здания задача определения собственных форм и частот собственных колебаний при различном положении шести мостовых кранов без рабочей нагрузки. Приведены результаты сравнительного анализа частот и форм колебаний протяженного в плане здания с учетом влияния положения кранов внутри него. Сделан вывод о значимом влиянии включения в расчетную модель здания моделей грузоподъемного крана на периоды собственных колебаний и характер собственных форм колебаний здания, а также ухудшения расчетных динамических характеристик здания.