

Влияние восковых температуропонижающих добавок Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 на долговечность асфальтобетона

Ольга Анатольевна Михайлова, Валентина Васильевна Ядыкина,
Андрей Евгеньевич Акимов

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова);
г. Белгород, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В условиях постоянного повышения требований к качеству, экономичности и экологичности материалов для дорожного строительства актуальным является получение теплых асфальтобетонных смесей (АБС) с улучшенными характеристиками. При подборе технологии и состава теплой АБС важны оценка эксплуатационных свойств и расчет срока службы асфальтобетона.

Материалы и методы. Исследовано влияние комплексной добавки Вискодор ПВ-2 в сравнении с известной импортной восковой добавкой Licomont BS-100 на физические и эксплуатационные свойства теплой АБС марки А16Вн. В качестве исходного битума использовали битум БНД 70/100, в составе минеральной части АБС — щебень и песок из отсевов дробления гранитных пород, а также известняковый минеральный порошок МП-2. Для изучения характеристик и долговечности асфальтобетона применяли методики в соответствии с актуальными стандартами.

Результаты. Приведены результаты оценки воздействия исследуемых восковых добавок на уплотняемость АБС при более низких температурах формования, чем контрольная горячая асфальтобетонная смесь. Проведено сравнение устойчивости к воздействию нагрузок контрольного образца асфальтобетона без добавок и образцов с исследуемыми добавками. На основании полученных данных произведен расчет срока службы тестируемых образцов асфальтобетона по критерию устойчивости к пластическим деформациям.

Выводы. Установлено, что исследуемые добавки позволяют не только снизить температуру приготовления и уплотнения АБС, но и улучшить качественные характеристики асфальтобетона: коэффициент водостойкости, устойчивость к действию нагрузок и пластическим деформациям. Существенно повышается срок службы дорожного полотна. Выявлено, что разработанная многокомпонентная добавка не только не уступает, а значительно превосходит по эффективности импортную.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асфальтобетонная смесь, битумное вяжущее, эксплуатационные свойства, температуропонижающая добавка, воск, битум, устойчивость к колееобразованию

Благодарности. В работе использовано измерительное оборудование, предоставленное Центром высоких технологий Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Михайлова О.А., Ядыкина В.В., Акимов А.Е. Влияние восковых температуропонижающих добавок Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 на долговечность асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2026. Т. 21. Вып. 3. С. 389–398. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.3.389-398

Автор, ответственный за переписку: Ольга Анатольевна Михайлова, mihaylovalymar@mail.ru.

Influence of wax temperature-reducing additives Viscodor PV-2 and Licomont BS-100 on the durability of asphalt concrete

Ol'ga A. Mihailova, Valentina V. Yadykina, Andrej E. Akimov

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov);
Belgorod, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. In the conditions of constant increase of requirements to quality, economy and environmental friendliness of construction materials for road construction it is urgent to obtain warm asphalt concrete mixtures with improved characteristics. When selecting the technology and composition for warm asphalt concrete mixes, an important task is to evaluate the operational properties and calculate the service life of asphalt concrete.

Materials and methods. In the paper the influence of complex additive Viskodor PV-2 in comparison with known imported wax additive Licomont BS-100 on physical and operational properties of warm asphalt concrete mixture of A16Vn grade

was investigated. BND 70/100 bitumen was used as the initial bitumen, crushed stone and granite rock crushing screenings and limestone mineral powder MP-2 were used in the composition of the mineral part of the asphalt-concrete mixture. To investigate the physical and operational properties of the asphalt concrete mixture, methods were used in accordance with the current standards.

Results. The results of evaluation of the effect of the investigated wax additives on the compactibility of asphalt concrete mixture at lower molding temperatures than the control hot asphalt concrete mixture are presented. A comparison of load resistance of the control specimen of asphalt concrete without additives and specimens with the investigated additives was carried out. Based on the obtained data, the service life of the tested asphalt concrete specimens was calculated by the criterion of resistance to plastic deformations.

Conclusions. It was established that the investigated additives allow not only to reduce the temperature of preparation and compaction of asphalt-concrete mixture, but also essentially improve qualitative characteristics of asphalt concrete: water resistance coefficient, resistance to loads and plastic deformations. As a consequence, increase the service life of the road surface. It is revealed that the developed complex additive Viskodor PV-2 is not inferior and even significantly exceeds the efficiency of imported additive Licomont BS-100.

KEYWORDS: asphalt concrete mix, bituminous binder, performance properties, temperature reducing additive, wax, bitumen, rutting resistance

Acknowledgements. The work was performed using the equipment on the basis of the Center of High Technologies of Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov.

FOR CITATION: Mihailova O.A., Yadykina V.V., Akimov A.E. Influence of wax temperature-reducing additives Viscodor PV-2 and Licomont BS-100 on the durability of asphalt concrete. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2026; 21(3):389-398. DOI: 10.22227/1997-0935.2026.3.389-398 (rus.).

Corresponding author: Olga A. Mihailova, mihaylovalymar@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с постоянно растущими требованиями к качеству, экономичности и экологичности материалов для строительства дорог актуальна задача снижения энергоёмкости производства асфальтобетонных смесей (АБС) с одновременным повышением их эксплуатационных характеристик [1]. Перспективное направление в дорожной индустрии — применение технологий теплых асфальтобетонных смесей, температуры приготовления и укладки которых на 20–30 °С ниже, чем при производстве традиционных горячих асфальтобетонов. Технологии приготовления теплых АБС позволяют улучшить условия труда рабочих; снизить скорость старения битума; увеличить дальность возки, количество вносимого в смесь переработанного асфальтобетона; расширить сезон дорожных работ; сократить количество вредных выбросов и потребление энергии на этапе производства [2, 3].

Для производства АБС с низкими температурами смешивания и уплотнения используют три основных технологии: введение в состав поверхностно-активных добавок, вспенивание битума водой, а также введение органических добавок — восков. Данные технологии дают возможность за счет более низкой вязкости битумного связующего или уменьшения трения между компонентами битума и минеральным материалом обеспечить однородность и требуемую подвижность АБС при пониженной температуре. Но снижение вязкости битума может стать причиной ухудшения показателей прочности асфальтобетона, что негативно отразится на сроке службы дорожного полотна [4]. При подборе состава теплой АБС важна оценка ее эксплуатационных свойств и расчет срока службы дорожного покрытия.

На срок эксплуатации асфальтобетонного покрытия оказывают влияние множество факторов. Это

статические и динамические нагрузки, вызываемые воздействием транспортных средств, влияние повышенных и пониженных температур, атмосферных осадков [5]. Таким образом, долговечность асфальтобетона будут характеризовать такие его эксплуатационные свойства, как водостойкость, сдвигоустойчивость, устойчивость к пластическим деформациям (колесобразованию). Поиску способов повышения устойчивости асфальтобетона к пластическим деформациям уделяют большое внимание как отечественные [6–8], так и зарубежные исследователи [9–11].

Одним из способов получения теплых асфальтобетонов служит использование органических добавок — восков [2, 12]. Технология применения восков в качестве температуропонижающих добавок для асфальтобетона получила широкое распространение за рубежом [13–16]. Ключевые преимущества применения таких добавок — повышение устойчивости вяжущего к старению, сопротивляемости дорожного покрытия пластическим деформациям, улучшение адгезии вяжущего к минеральному заполнителю и водостойкости асфальтобетона [17]. Но, в отличие от поверхностно-активных добавок, воски могут ухудшить устойчивость к низким температурам, понизить трещиностойкость асфальтобетона [10]. В этом случае перспективной альтернативой могут стать многофункциональные модификаторы, включающие в себя как воски, так и компоненты, позволяющие нивелировать недостатки органических добавок.

Таким модификатором является Вискодор ПВ-2. Эта присадка, разработанная компанией ООО «Селена» в сотрудничестве с кафедрой автомобильных и железных дорог имени А.М. Гридчина БГТУ имени В.Г. Шухова, представляет собой комплекс, состоящий из восковых компонентов, катионных поверхностно-активных веществ (ПАВ) и пластификаторов. Выполненные ранее исследования [18]

показали, что указанная добавка повышает температурный интервал пластичности и адгезионные свойства. Ее применение может быть перспективным для улучшения эксплуатационных свойств и долговечности асфальтобетона.

Цель исследования — оценка эффективности влияния Вискодор ПВ-2 на физические и эксплуатационные свойства и, как следствие, на долговечность асфальтобетона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для сравнительной оценки эффективности комплексной добавки Вискодор ПВ-2 в работе использована широко известная органическая добавка на основе амидного воска Licomont BS-100 (производство Clariant, Швейцария). Согласно литературным данным [2, 19], применение 2,0–3,0 % указанной добавки в составе битумных вяжущих позволяет значительно увеличить интервал пластичности вяжущего.

Были протестированы образцы АБС типа А16Вн в соответствии с ГОСТ Р 58406.2–2020 на основе исходного битума без добавок и на вяжущем, модифицированном исследуемыми восковыми добавками.

В качестве исходного вяжущего использован битум БНД 70/100, соответствующий по всем показателям нормам ГОСТ 33133. В качестве минеральных компонентов смеси применили гранитный щебень фракции (фр.) 8–16 и 4–8 мм и песок дробленый фр. 0–4 мм, а также минеральный порошок МП-2.

Исходя из гранулометрических составов вышеуказанных минеральных материалов, по методике, изложенной в ГОСТ Р 58406.10–2020, был подобран

оптимальный состав минеральной части асфальтобетонной смеси А16Вн в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58406.2–2020, а также определено рациональное содержание битумного вяжущего.

Приготовление контрольной смеси на основе исходного битума без добавок осуществлялось при $t = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$, а смесей с температуропонижающими органическими добавками Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 — при температуре $t = 135\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Подготовка и уплотнение образцов АБС производились согласно ГОСТ Р 58406.9–2019. Уплотнение контрольной горячей АБС на битуме без добавок проводили при $t = 135\text{ }^{\circ}\text{C}$, а теплых АБС с исследуемыми добавками при $t = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сборной форме для уплотнения посредством 50 ударов уплотнительного молота. Далее определяли следующие физические и эксплуатационные свойства АБС: максимальную плотность — по ГОСТ Р 58401.16, объемную плотность — по ГОСТ Р 58401.10, содержание пустот в минеральном заполнителе (ПМЗ) — по ГОСТ 58406.10, содержание пустот, наполненных битумным вяжущим (ПНВ), — по ГОСТ 58406.10, коэффициент водостойкости — по ГОСТ Р 58401.18, разрушающую нагрузку и деформацию по методу Маршалла по ГОСТ 58406.8, среднюю глубину колеи и угол наклона колееобразования — по ГОСТ Р 58406.3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гранулометрические характеристики и подобранный рациональный состав минеральной части представлены в табл. 1.

Табл. 1. Подбор гранулометрического состава минеральной части

Table 1. Selection of granulometric composition of the mineral part

Номер Number	Наименование материала Name of material	Содержание, % Content, %	Содержание зерен менее данного размера (мм), в % по массе Content of grains less than this size (mm), in % by weight						
			22,4	16	8	4	2	0,5	0,063
1	Щебень фр. 8–16 мм Crushed stone fraction 8–16 mm	35	35,0	33,1	8,2	0,4	0,0	0,0	0,0
2	Щебень фр. 4–8 мм Crushed stone fraction 4–8 mm	25,6	25,6	25,6	25,0	6,3	0,8	0,0	0,0
3	Песок дробленый фр. 0–4 мм Crushed sand fraction 0–4 mm	33	33,0	33,0	33,0	32,2	23,5	9,9	1,6
4	Минеральный порошок Mineral powder	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	5,4
Зерновой состав минеральной части Grain composition of the mineral part			100,0	98,1	72,6	45,3	30,7	16,3	7,0
Требования ГОСТ Р 58406.2–2020 для смеси А16Вн Requirements of GOST R 58406.2–2020 for mixture А16Вн		Минимальное Min	90	70	37	25	7	5	5
		Максимальное Max	100	85	58	40	20	10	10

Табл. 2. Физические свойства исследуемых асфальтобетонных смесей

Table 2. Physical properties of investigated asphalt concrete mixtures

Показатель Indicator	Требования ГОСТ Р 58406.2–2020 Requirements of GOST R 58406.2–2020	Составы / Compositions			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Объемная плотность, г/см³ Bulk density, g/cm³	Не нормируется Not standardized	2,384	2,380	2,370	2,375
Максимальная плотность, г/см³ Maximum density, g/cm³	Не нормируется Not standardized	2,460	2,453	2,442	2,452
Содержание воздушных пустот, % Air void content, %	2,5–4,5	3,1	3,0	2,9	3,1
Пустоты в минеральном заполнителе (ПМЗ), % Voids in mineral aggregate, %	≥12,0	14,2	14,2	14,6	14,5
Пустоты, наполненные битумным вяжущим (ПНБ), % Voids filled with bituminous binder, %	67,0–80,0	78,2	78,9	79,8	78,3

Оптимальное содержание битумного вяжущего составило 5 % сверх 100 % минеральной части.

В качестве битумного вяжущего для образцов асфальтобетонной смеси использовали:

- состав № 1 — битум БНД 70/100 без добавок;
- состав № 2 — с 1,5 % Вискодор ПВ-2;
- состав № 3 — с 2 % Вискодор ПВ-2;
- состав № 4 — с 2 % Licomont BS-100.

Результаты исследования физических свойств образцов асфальтобетонных смесей представлены в табл. 2.

Согласно полученным результатам (табл. 2), физические показатели всех испытуемых асфальтобетонных смесей соответствуют требованиям ГОСТ Р 58406.2–2020 для марки А16Вн. Это подтверждает, что зерновой состав асфальтобетонной смеси и количество вяжущего подобраны оптимально.

Показатели плотности исследуемых АБС отличаются друг от друга незначительно, что говорит об однородности составов. Содержание воздушных пустот, пустот в минеральном заполнителе, а также пустот, наполненных битумным вяжущим, в образцах АБС с добавками (составы № 2–4), не выше, чем в контрольном образце № 1 без добавок. Таким образом, применение добавок Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 понизило температуру смешивания и укладки на 25 °С без ухудшения степени уплотнения смеси. Стоит отметить, что минимальным показателем содержания воздушных пустот и максимальным содержанием пустот, наполненных битумным вяжущим, обладает образец с битумным вяжущим, модифицированным 2 % Вискодор ПВ-2, что указывает на лучшее уплотнение смеси. Это объясняется наличием в добавке температуропонижающих катионных ПАВ и пластифицирующих компонентов.

При проектировании асфальтобетонного покрытия важнейшей задачей является оценка его долговечности. Долговечность асфальтобетона обусловлена его способностью сопротивляться воздей-

ствию нагрузок, перепадов температур, воды и другим факторам, оказывающим негативное влияние. К эксплуатационным показателям, которые позволяют оценивать долговечность, относятся водостойкость, устойчивость к образованию колеи, а также разрушающая нагрузка по Маршаллу и деформация по Маршаллу.

Результаты исследования эксплуатационных свойств в тестируемых образцах асфальтобетона представлены в табл. 3.

Полученные результаты показывают, что введение исследуемых добавок увеличивает коэффициент водостойкости, характеризующий устойчивость асфальтобетона к разрушающему воздействию воды. Наибольшее влияние на данный показатель оказала добавка Вискодор ПВ-2 в концентрации 2 % — коэффициент водостойкости составил 0,94 против 0,89 у асфальтобетона на исходном битуме без добавок. Это объясняется наличием в добавке пластификаторов и катионных ПАВ, способствующих увеличению адгезионных свойств вяжущего и наибольшему уплотнению АБС, что положительно отразится на долговечности дорожного полотна.

Разрушающая нагрузка и деформация по Маршаллу позволяют оценить устойчивость асфальтобетона к многократным нагрузкам. На рис. 1 показано изменение этих свойств при использовании в качестве основы битума, модифицированного исследуемыми добавками в сравнении с асфальтобетоном без добавок.

Исходя из результатов, представленных в табл. 3, можно заключить, что показатели разрушающей нагрузки по Маршаллу для всех образцов более чем в 2 раза превышают значения, требуемые по ГОСТ Р 58406.2–2020. Приведенная на рис. 1 диаграмма, показывает, что введение добавки Вискодор ПВ-2 в концентрации 2 % повышает этот показатель на 41,2 %, а 1,5 % — на 7,5 %, Licomont BS-100 — на 16,0 %. Такое увеличение будет способствовать повышению

Табл. 3. Эксплуатационные свойства образцов асфальтобетона

Table 3. Performance properties of asphalt concrete specimens

Наименование показателя Name of indicator	Требования ГОСТ Р 58406.2–2020 Requirements of GOST R 58406.2–2020	Составы / Compositions			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Коэффициент водостойкости Water resistance coefficient	≥ 0,85	0,89	0,90	0,94	0,91
Разрушающая нагрузка по Маршаллу, Н Destructive load by Marshall, N	≥ 5340	10 650	11 450	15 040	12 350
Деформация по Маршаллу, мм Marshall strain, mm	2,0–4,0	3,4	3,1	2,2	3,0
Средняя глубина колеи, мм Average track depth, mm	≤ 4,5	4,5	2,8	2,3	2,6
Угол наклона кривой колееобразования, мм/1000 циклов Rutting curve slope angle, mm/1,000 cycles	≤ 0,20	0,12	0,06	0,06	0,06

устойчивости асфальтобетона к образованию колеи, впадин и наплывов.

Деформация по Маршаллу для асфальтобетонных добавками понижается в сравнении с образцом, приготовленным на исходном битуме. Так, данный показатель для асфальтобетона с 1,5 и 2 % Вискодор ПВ-2 снизился на 8,8 и 35,3 % соответственно, а с 2 % Licomont BS-100 — на 11,8 %, по сравнению с контрольным составом без добавок. Это свидетельствует о том, что применение исследуемых органических добавок повышает устойчивость асфальтобетона к остаточным деформациям.

Результаты исследования процесса колееобразования представлены в табл. 3 и на рис. 2.

На кривой колееобразования выделяют три зоны: стадия доуплотнения, при которой происходит ин-

тенсивное уплотнение до максимально возможного значения; стадия пластических деформаций, характеризующаяся сопротивляемостью асфальтобетона к образованию колеи; стадия разрушения, на этом этапе кривая колееобразования резко увеличивает наклон [20].

График колееобразования, полученный в результате испытаний (рис. 2), иллюстрирует характерные стадии доуплотнения (от 0 до 2000 проходов колеса) и развития пластических деформаций (свыше 2000). Для всех испытанных образцов в результате 20 000 проходов колеса зоны разрушения достигнуто не было. Анализ полученных данных позволяет утверждать, что введение исследуемых органических добавок существенно повышает устойчивость асфальтобетона к воздействию пластических деформаций. Глубина колеи после 20 000

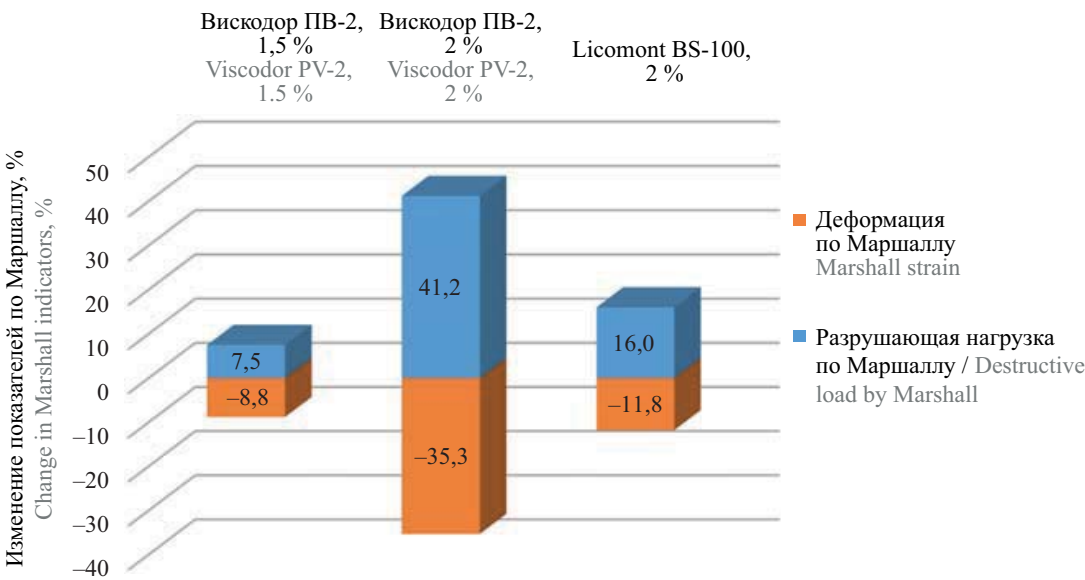


Рис. 1. Изменение разрушающей нагрузки и деформации по Маршаллу при использовании добавок Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100

Fig. 1. Change in Marshall breaking load and Marshall strain when using Viscodor PV-2 and Licomont BS-100 additives

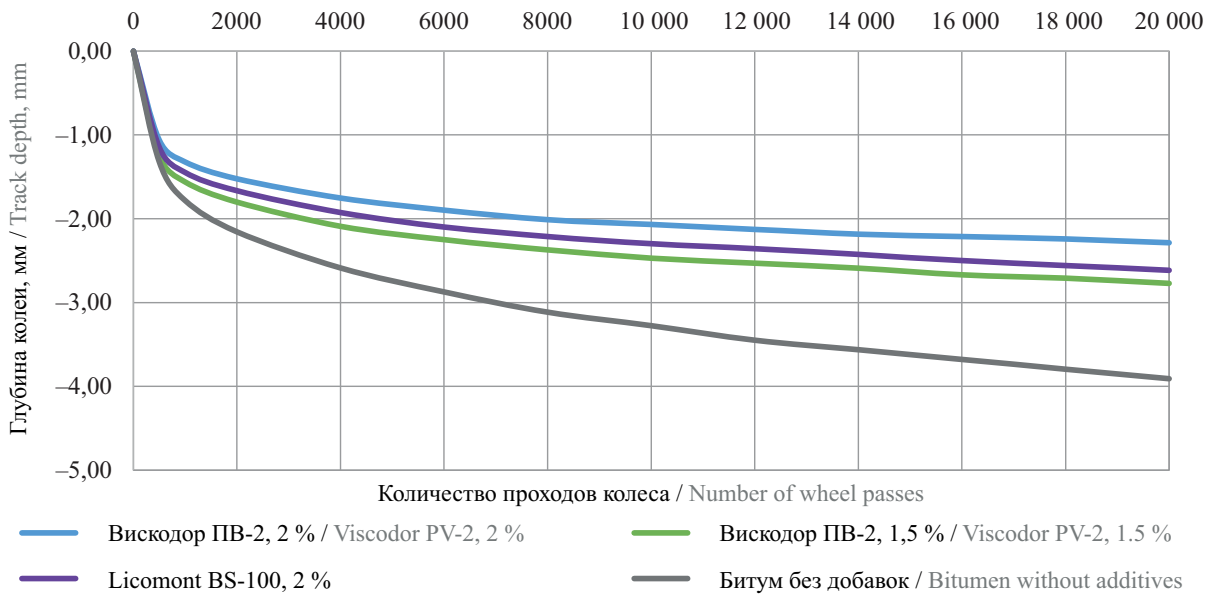


Рис. 2. График калесобразования образцов асфальтобетона А16Вн, приготовленных на исходном и модифицированном исследуемыми добавками битуме

Fig. 2. Rutting graph of А16Vn asphalt concrete specimens prepared on initial and bitumen modified with the investigated additives

проходов колеса на образцах с Вискодор ПВ-2 и Лисомонт ВС-100 значительно снизилась.

Наименьшая глубина колеи после 20 000 проходов выявлена на образцах асфальтобетона, модифицированного 2 % Вискодор ПВ-2 — 2,3 мм, в то время как для асфальтобетона без добавок этот показатель составил 3,9 мм; для образца с 2 % Лисомонт ВС-100 — 2,6 мм (табл. 3). Угол наклона кривой калесобразования, характеризующий динамику развития пластических деформаций, для образцов с добавками также значительно снижается.

Так, этот показатель для асфальтобетона без добавок составляет 0,12 мм/1000 циклов, тогда как угол наклона для кривых калесобразования для образцов асфальтобетона с добавками составил 0,06 мм/1000 циклов. Следовательно, применение добавок Вискодор ПВ-2 и Лисомонт ВС-100 повышает устойчивость асфальтобетона к пластическим деформациям и будет способствовать повышению долговечности асфальтобетона.

Наиболее высокие показатели устойчивости к калесобразованию образца асфальтобетона с приме-

Табл. 4. Расчет срока службы дорожного покрытия

Table 4. Calculation of road pavement service life

Показатель Indicator	Асфальтобетон на основе битумного вяжущего Asphalt concrete based on bituminous binder			
	Без добавки Without additive	1,5 % Вискодор ПВ-2 Viscodor PV-2	2 % Вискодор ПВ-2 Viscodor PV-2	2 % Лисомонт BS-100
Глубина колеи после минимального количества циклов прохода колеса Rut depth after minimum number of wheel pass cycles	2,6	2,1	1,8	1,9
Глубина колеи после максимального количества циклов прохода колеса Rut depth after maximum number of wheel pass cycles	3,9	2,8	2,3	2,6
Глубина колеи после одного цикла нагрузки Track depth after 1 load cycle	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Расчетный срок службы дорожного покрытия, лет Estimated service life of road pavement, years	4,9	7,7	10,9	7,8

нием 2 % Вискодор ПВ-2 объясняются его большим уплотнением при формировании вследствие наличия в добавке ПАВ и пластификаторов. В этом случае происходит меньшее доуплотнение асфальтобетона, чем в образцах с использованием исходного битума и вяжущего, модифицированного воском Licomont BS-100.

По критерию устойчивости к колееобразованию был рассчитан срок службы дорожного полотна по формуле, предложенной в методике БелдорНИИ¹:

$$T_{\text{плост}} = (K_{\text{усл}} \cdot H_{\text{кр}}) / (H_1 \cdot I_{\text{расч}} \cdot T_{50}),$$

где $K_{\text{усл}}$ — коэффициент условий движения ($K_{\text{усл}} = 1,3$); $H_{\text{кр}}$ — критическая глубина колеи, м (согласно ОДН 218.0.006–2002 для дорог с расчетной скоростью 100 и более км/ч составляет 0,02 м); H_1 — глубина колеи после одного цикла воздействия колесной нагрузки, м; $I_{\text{расч}}$ — интенсивность расчетной нагрузки, авт/ч ($I_{\text{расч}} = 200$ авт/ч); T_{50} — сумма времени в году с температурой покрытия 50 °С и выше (при отсутствии заданных условий региона T_{50} принимают равным 190 ч/год).

Глубину колеи после одного цикла нагрузки определили по формуле:

$$H_1 = \frac{h_2 - h_1}{N_2 - N_1} 0,001,$$

где h_1 — глубина колеи после минимального количества циклов прохода колеса; h_2 — глубина колеи после максимального количества циклов прохода колеса; N_1 — минимальное количество циклов прохода колеса, принимаемое в расчете (равно 2000); N_2 — максимальное количество циклов прохода колеса, принимаемое в расчете (равно 10 000).

Результаты расчета срока службы дорожного покрытия на основе испытываемых образцов асфальтобетона представлены в табл. 4.

Исходя из полученных результатов можно констатировать, что применение исследуемых органи-

ческих добавок позволяет значительно повысить долговечность дорожного покрытия. Так, использование 1,5 и 2 % Вискодор ПВ-2 в составе вяжущего повышает срок службы дорожного покрытия в 1,6 и 2,2 раза соответственно, а 2 % Licomont BS-100 — в 1,6 раза.

Согласно ОДМ 218.6.029–2017 рекомендованный гарантийный срок службы для верхнего слоя покрытия при прогнозируемой интенсивности движения 2500–5000 автомобилей в сутки должен быть не менее 6 лет. Таким образом, согласно полученным расчетам, испытанная в работе асфальтобетонная смесь без добавок не обеспечивает требуемый срок службы дорожного покрытия, что делает в данном случае применение добавок, повышающих устойчивость к колееобразованию, необходимым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение модификаторов на основе синтетических восков Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 позволяет не только снизить температуры приготовления и укладки асфальтобетонной смеси А16Вн на 25 °С без ухудшения уплотняемости, но и улучшить эксплуатационные характеристики асфальтобетона, такие как водостойкость, разрушающая нагрузка и деформация по Маршаллу, устойчивость к колееобразованию.

Согласно расчетам по критерию устойчивости к пластическим деформациям, применение исследованных восковых добавок существенно повысит срок службы дорожного покрытия. Использование 1,5 и 2 % Вискодор ПВ-2 в составе вяжущего повышает срок службы дорожного покрытия в 2,7 и 3,8 раз соответственно, а 2 % Licomont BS-100 — в 2,7 раза.

Разработанная добавка Вискодор ПВ-2 не только не уступает, но и значительно превосходит по эффективности повышения эксплуатационных характеристик асфальтобетона известную импортную добавку Licomont BS-100. Применение отечественной добавки Вискодор ПВ-2 взамен импортной дает возможность снизить затраты на дорогостоящее импортное сырье и повысить срок службы дорожного покрытия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Братчун В.И., Беспалов В.Л., Гуляк Д.В., Ромасюк Е.А., Пшеничных О.А. Комплексно-модифицированные дорожные асфальтобетоны повышенной долговечности // Агротехника и энергообеспечение. 2020. № 1 (26). С. 78–94. EDN LAIQMT.
2. Алшахван А., Калгин Ю.И. Обзор технологий приготовления теплых асфальтобетонных смесей // Молодой ученый. 2019. № 32 (270). С. 102–107. EDN GMJKRE.
3. Yadykina V.V., Akimov A.E., Trautvain A.I., Kholopov V.S. Influence of DAD-TA temperature-reduc-

ing additive on physical and mechanical properties of bitumen and compaction of asphalt concrete // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. P. 032006. DOI: 10.1088/1757-899X/327/3/032006

4. Калгин Ю.И., Алшахван А. Долговечность теплых асфальтобетонных смесей дорожных покрытий в климатических условиях Сирийской Арабской Республики // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 8 (752). С. 94–104. DOI: 10.32683/05-36-1052-2021-752-8-94-104. EDN XQCYVP.

¹ ДМД 02191.2.051–2012. Рекомендации по подбору составов асфальтобетонных смесей по асфальтовяжущему : введ. 01.03.2012. Минск : БелдорНИИ, 2012. 23 с.

5. Бузиков Ш.В., Лодыгина К.В. Долговечность асфальтобетона в дорожных покрытиях // Проблемы современной науки и образования. 2022. № 5 (174). С. 12–14. EDN HOATUX.
6. Саткеева А.М. Способы повышения долговечности дорожных щебеночно-мастичных асфальтобетонных комплексной модификацией структуры щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. № 1 (153). С. 85–90. EDN GUSNHU.
7. Угланов Ю.А. Проблема колееобразования на дорогах с асфальтобетонным покрытием // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2022. № 1 (52). С. 39–42. EDN DDDTQI.
8. Жабцев А.В., Строкін А.С., Тюков Е.Б. Повышение устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи на автодорожных мостах // Высокие технологии в строительном комплексе. 2022. № 2. С. 131–135. EDN DJLWTI.
9. Fonseca M., Capitão S., Almeida A., Picado-Santos L. Influence of Plastic Waste on the Workability and Mechanical Behaviour of Asphalt Concrete // Applied Sciences (Switzerland). 2022. Vol. 12. Issue 4. P. 2146. DOI: 10.3390/app12042146. EDN NJKMZH.
10. Hasan W.M., Yousif R.A., Hesami S., Tayh S.A., Jasim A.F., Ibrahim H.H. Evaluation of Mechanical Properties of Warm-Mix Asphalt Mixtures Prepared with Sasobit and Zeolite Additives // Journal of Engineering and Technological Sciences. 2024. Vol. 56. Issue 6. Pp. 716–726. DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.6.4. EDN PFMVLA.
11. Azarhoosh A., Koohmishi M., Hamed G.H. Rutting Resistance of Hot Mix Asphalt Containing Coarse Recycled Concrete Aggregates Coated with Waste Plastic Bottles // Advances in Civil Engineering. 2021. Vol. 2021. Issue 1. DOI: 10.1155/2021/9558241. EDN XREMJA.
12. Шеховцова С.Ю., Высоцкая М.А., Холопов В.С. Особенности технологии теплого асфальтобетона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 43–48. DOI: 10.12737/24131. EDN XTBMLN.
13. Zhang H., Zhang H., Ding H., Yang E., Qiu Y. Thermal stress calculation of wax-based warm mix asphalt considering thermorheologically complex behavior // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 368. P. 130488. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130488
14. Qiu Ya., Xie Q., Ding H., Xuan W. A novel method for determining the wax precipitation temperature in wax-based warm mix asphalt // International Journal of Pavement Engineering. 2023. Vol. 24. Issue 2. DOI: 10.1080/10298436.2023.2287143
15. Sigwarth T., Büchner J., Wistuba M.P. Bio-Degradable Wax to Modify Asphalt Binder for Warm Mix Asphalt // Sustainability. 2022. Vol. 14. Issue 16. P. 10219. DOI: 10.3390/su141610219
16. Tong B., Song X., Shen J., Jiang T., Chen J., Niu J. Effect of Sasobit warm mix on micro properties of asphalt with different degrees of regeneration // Frontiers in Materials. 2022. Vol. 9. DOI: 10.3389/fmats.2022.950550
17. Вдовин Е.А., Фомин А.Ю., Коновалов Н.В. Модифицирующая добавка на основе синтетического окисленного воска для щебеночно-мастичных асфальтобетонов // Автомобильные дороги и транспортная инфраструктура. 2023. № 3 (3). С. 4–11. EDN GZDJYL.
18. Ядыкина В.В., Михайлова О.А. Влияние температуропонижающих добавок на свойства битума // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 8–18. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18. EDN OFVUEB.
19. Пыриг Я.И., Галкин А.В. Сравнительная оценка влияния энергосберегающих добавок на свойства битума // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2020. № 90. С. 114–124. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.114. EDN SLZZXX.
20. Угланов Ю.А. Исследование колеейности и определение риска возникновения ДТП на дорогах, подверженных образованию колеи // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2022. № 1 (52). С. 33–39. EDN BVEEGW.

Поступила в редакцию 6 июня 2025 г.

Принята в доработанном виде 12 января 2026 г.

Одобрена для публикации 12 января 2026 г.

ОБ АВТОРАХ: **Ольга Анатольевна Михайлова** — аспирант кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)**; 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; SPIN-код: 1581-1030, РИНЦ ID: 1255044, ORCID: 0009-0000-5896-5524; mihaylovalymar@mail.ru;

Валентина Васильевна Ядыкина — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)**; 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; SPIN-код: 2468-5657, РИНЦ ID: 111245, Scopus: 6507406311, ResearcherID: P-9876-2015, ORCID: 0000-0001-8289-2361; vvya@intbel.ru;

Андрей Евгеньевич Акимов — кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных и железных дорог им. А.М. Гридчина; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**

(БГТУ им. В.Г. Шухова); 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46; SPIN-код: 8570-2378, РИНЦ ID: 878375, Scopus: 57201780981, ResearcherID: P-7075-2017, ORCID: 0000-0001-8556-5331; akimov548@gmail.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Bratchun V.I., Bespalov V.L., Gulyak D.V., Romasyuk E.A., Pshenichnyh O.A. Complex-modified road asphalt-concrete enhanced durability. *Agrotechnics and Energy Supply*. 2020; 1(26):78-94. EDN LAIQMT. (rus.).
2. Alshahvan A., Kalgin Y.I. Review of technologies for the preparation of warm asphalt concrete mixtures. *Young Scientist*. 2019; 32(270):102-107. EDN GMJKRE. (rus.).
3. Yadykina V.V., Akimov A.E., Trautvain A.I., Kholopov V.S. Influence of DAD-TA temperature-reducing additive on physical and mechanical properties of bitumen and compaction of asphalt concrete. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2018; 327:032006. DOI: 10.1088/1757-899X/327/3/032006
4. Kalgin Yu.I., Alshahwan A. Durability of warm mix asphalt in asphalt surfaces in climatic conditions of the Syrian Arab Republic. News of Higher Educational Institutions. *Construction*. 2021; 8(752):94-104. DOI: 10.32683/05-36-1052-2021-752-8-94-104. EDN XQCYVP. (rus.).
5. Buzikov Sh.V., Lodygina K.V. Durability of asphalt concrete in road surfaces. *Problems of Modern Science and Education*. 2022; 5(174):12-14. EDN HOATUX. (rus.).
6. Satkoeva A. Methods for increasing the durability of road crushed stonemastic asphalt concrete by complex modification of the structure of crushed stonemastic asphalt concrete. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2022; 1(153):85-90. EDN GUSNHY. (rus.).
7. Uglanov Yu.A. The problem of rutting on roads with asphalt concrete pavement. *Technical Regulation in Transport Construction*. 2022; 1(52):39-42. EDN DDDTQI. (rus.).
8. Zhabtsev A.V., Strokin A.S., Tyukov Ye.B. Improving the stability of asphalt concrete pavement to the formation of a track on road bridges. *High Technologies in the Construction Complex*. 2022; 2:131-135. EDN DJLWTI. (rus.).
9. Fonseca M., Capitão S., Almeida A., Picado-Santos L. Influence of Plastic Waste on the Workability and Mechanical Behaviour of Asphalt Concrete. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022; 12(4):2146. DOI: 10.3390/app12042146. EDN NJKMZH.
10. Hasan W.M., Yousif R.A., Hesami S., Tayh S.A., Jasim A.F., Ibrahim H.H. Evaluation of Mechanical Properties of Warm-Mix Asphalt Mixtures Prepared with Sasobit and Zeolite Additives. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 2024; 56(6):716-726. DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.6.4. EDN PFMVLA.
11. Azarhoosh A., Koohmishi M., Hamed G.H. Rutting Resistance of Hot Mix Asphalt Containing Coarse Recycled Concrete Aggregates Coated with Waste Plastic Bottles. *Advances in Civil Engineering*. 2021; 2021(1). DOI: 10.1155/2021/9558241. EDN XREMJA.
12. Shekhovtsova S.Yu., Vysotskaya M.A., Kholopov V.S. Features of warm asphalt concrete technology. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2017; 2:43-48. DOI: 10.12737/24131. EDN XTBMNL. (rus.).
13. Zhang H., Zhang H., Ding H., Yang E., Qiu Y. Thermal stress calculation of wax-based warm mix asphalt considering thermorheologically complex behavior. *Construction and Building Materials*. 2023; 368:130488. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130488
14. Qiu Ya., Xie Q., Ding H., Xuan W. A novel method for determining the wax precipitation temperature in wax-based warm mix asphalt. *International Journal of Pavement Engineering*. 2023; 24(2). DOI: 10.1080/10298436.2023.2287143
15. Sigwarth T., Büchner J., Wistuba M.P. Bio-Degradable Wax to Modify Asphalt Binder for Warm Mix Asphalt. *Sustainability*. 2022; 14(16):10219. DOI: 10.3390/su141610219
16. Tong B., Song X., Shen J., Jiang T., Chen J., Niu J. Effect of Sasobit warm mix on micro properties of asphalt with different degrees of regeneration. *Frontiers in Materials*. 2022; 9. DOI: 10.3389/fmats.2022.950550
17. Vdovin E.A., Fomin A.Y., Konovalov N.V. Modifying additive based on synthetic oxidized wax for crushed stone-mastic asphalt concretes. *Automobile Roads and Transport Infrastructure*. 2023; 3(3):4-11. EDN GZDJYL. (rus.).
18. Yadykina V., Mihaylova O. The effect of temperature-reducing additives based on synthetic waxes on the properties of bitumen. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2023; 3:8-18. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18. EDN OFVUEB. (rus.).
19. Pyrig Ya.I., Galkin A.V. Comparison evaluation of the effect of energy-saving additives on bitumen properties. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*. 2020; 90:114-124. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.90.0.114. EDN SLZZXX. (rus.).
20. Uglanov Yu.A. Investigation of trackage and determination of the risk of accidents on roads subject to the formation of a track. *Technical Regulation in Transport Construction*. 2022; 1(52):33-39. EDN BVEEGW. (rus.).

Received June 6, 2025.

Adopted in revised form on January 12, 2026.

Approved for publication on January 12, 2026.

B I O N O T E S: **Oľ'ga A. Mihailova** — postgraduate student of the Department of Automobiles and Railways named after A.M. Gridchin; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 1581-1030, ID RSCI: 1255044, ORCID: 0009-0000-5896-5524; mihaylovalymar@mail.ru;

Valentina V. Yadykina — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Railways named after A.M. Gridchin; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 2468-5657, ID RSCI: 111245, Scopus: 6507406311, ResearcherID: P-9876-2015, ORCID: 0000-0001-8289-2361; vvya@intbel.ru;

Andrej E. Akimov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobiles and Railways named after A.M. Gridchin; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 8570-2378, ID RSCI: 878375, Scopus: 57201780981, ResearcherID: P-7075-2017, ORCID: 0000-0001-8556-5331; akimov548@gmail.com.

Contribution of the authors: all authors made equivalent contributions to the publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.