

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК LICOMONT BS-100 И ВИСКОДОР ПВ-2 НА СКОРОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Ольга Анатольевна Михайлова¹, Валентина Васильевна Ядыкина²

^{1,2} Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия,

¹ mihaylovalymar@mail.ru, ² vuya@intbel.ru

Аннотация. Срок службы асфальтобетона в значительной степени зависит от интенсивности старения битумного вяжущего, входящего в его состав. Введение в битум модифицирующих добавок позволяет замедлить скорость процессов термодеструкции. В данной статье представлена сравнительная оценка влияния отечественной добавки на основе синтетических восков Вискодор ПВ-2 и импортной добавки Licomont BS-100 на скорость старения битумного вяжущего и асфальтобетонной смеси. Приведены результаты исследования изменений в процессе старения по методам RTFOT и УСК (упрощенного кратковременного старения) физико-химических свойств модифицированного добавками вяжущего, таких как температура размягчения, глубина проникания иглы при 25 °C, температура хрупкости. На основе изменения в процессе термостатирования асфальтобетонных смесей при температуре их приготовления таких показателей, как предел прочности при 20 и 50 °C, водостойкость и трещиностойкость, определены коэффициенты старения, характеризующие динамику процессов термодеструкции битумного вяжущего.

Ключевые слова: битумное вяжущее, асфальтобетонная смесь, технологическое старение, физико-химические свойства вяжущего, предел прочности асфальтобетона, водостойкость, трещиностойкость, интенсивность старения

Для цитирования: Михайлова О. А., Ядыкина В. В. Влияние добавок Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2 на скорость технологического старения асфальтобетонной смеси // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2025. Выпуск 2025-3(173) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. С. 76–86. doi: 10.71536/vd.2025.3c173.8. edn: fnoltj.

Благодарности: Работа выполнена с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Original article

INFLUENCE OF LICOMONT BS-100 AND VISCODOR PV-2 ADDITIVES ON THE RATE OF TECHNOLOGICAL AGING OF ASPHALT CONCRETE MIXTURE

Olga A. Mikhaylova¹, Valentina V. Yadykina²

^{1,2} Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia,

¹ mihaylovalymar@mail.ru, ² vuya@intbel.ru

Abstract. The service life of asphalt concrete depends to a large extent on the intensity of aging of the bituminous binder included in its composition. Introduction of modifying additives into bitumen makes it possible to slow down the rate of thermal degradation processes. This article presents a comparative evaluation of the effect of domestic additive based on synthetic waxes Viskodor PV-2 and imported additive Licomont BS-100 on the aging rate of bituminous binder and asphalt concrete mixture. The results of the study of changes in the aging process by RTFOT and USK (simplified short-term aging) methods of physical and chemical properties of the binder modified by additives, such as softening point, needle penetration depth at 25 °C, brittleness temperature,



are presented. On the basis of changes in the process of thermostatization of asphalt concrete mixtures at the temperature of their preparation such indicators as strength at 20 and 50 °C, water resistance and crack resistance, the aging coefficients characterizing the dynamics of bituminous binder thermodegradation processes were determined.

Keywords: bituminous binder, asphalt concrete mixture, technological aging, physical and chemical properties of binder, asphalt concrete strength, water resistance, crack resistance, aging intensity

For citation: Mikhaylova O. A., Yadykina V. V. Influence of Licomont BS-100 and Viscodor PV-2 additives on the rate of technological aging of asphalt concrete mixture. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Buildings and structures using new materials and technologies.* 2025;3(173):76–86. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.3c173.8. edn: fnoltj.

Acknowledgments: The work was carried out using equipment based on the Center for High Technologies of BSTU named after V. G. Shukhov.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире транспортное сообщение оказывает значительное влияние на многие сферы жизни общества. От качества дорог зависит и скорость логистики в различных отраслях экономики, и доступность удаленных населенных пунктов к необходимым товарам и социальным услугам, и безопасность движения. Поэтому актуальной является задача улучшения качественных характеристик и повышения долговечности асфальтобетона как материала, наиболее широко применяемого в дорожном строительстве. Улучшить свойства асфальтобетона и существенно продлить срок его эксплуатации позволяет модификация битумного вяжущего полимерами [1; 2], поверхностно-активными веществами [3; 4], восками [5] и другими добавками.

Срок службы дорожного покрытия значительно снижается из-за склонности асфальтобетона к старению, которое начинается в процессе производства асфальтобетонной смеси и продолжается в течение всего периода эксплуатации дорожного покрытия [6]. Старение асфальтобетона связано со структурными и химическими изменениями, происходящими в составе битумного вяжущего, как во время приготовления, так и в течение всего периода эксплуатации [7]. При старении снижаются пластичные свойства битума, повышается его жесткость и хрупкость, что приводит к разрушению асфальтобетона под воздействием внешних факторов, особенно при низких температурах окружающей среды [8]. При этом наиболее интенсивные изменения происходят во время приготовления, хранения, транспортировки и укладки асфальтобетонных смесей – «технологическое старение» битумного вяжущего. Связано это с тем, что в это время битум находится при высоких температурах в тонкой пленке, покрывающей минеральный заполнитель и подвергается при перемешивании воздействию кислорода воздуха [9; 10].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Изучению изменений свойств асфальтобетона в результате старения, связанного с окислительными процессами, происходящими в битумном вяжущем при высоких температурах,делено большое внимание как отечественных [11–16], так и зарубежных ученых [12–15]. Так, японские компании SK и Shoreki совместно провели исследования старения битумного вяжущего и асфальтобетона [17], основанные на изучениях физико-химических свойств вяжущего, подвергнутого старению по методам TFOT и PAV, а также моделировании старения асфальтобетонных смесей посредством выдержки их при определенной температуре заданное количество времени. Было выявлено повышение жесткости и хрупкости при старении как битумного вяжущего, так и асфальтобетонной смеси. Исследователи Поволжского государственного технологического университета представили результаты испытания [13–15] физико-механических свойств асфальтобетонных смесей после старения посредством выдержки их в сушильном шкафу при температурах 150 и 160 °C в течение продолжительного времени и предложили методику оценки интенсивности старения асфальтобетонной смеси, основанную на определении соотношения показателей физико-механических характеристик асфальтобетона до и после термоустойчивости при высокой температуре [21]. Согласно данным, полученным в работах [8; 12; 13; 16] в изменениях свойств асфальтобетонных смесей при старении можно выделить два периода. На первом, до определенного времени, происходит

упрочнение структуры асфальтобетона, выражющееся в повышении показателей прочности, водостойкости и трещиностойкости асфальтобетона, что связано с повышением вязкости битума. Затем хрупкость битума значительно повышается, что приводит к ухудшению всех эксплуатационных характеристик асфальтобетона. При этом образцы асфальтобетона, прочностные свойства которых интенсивнее повышаются на первом этапе старения, склонны к более интенсивному ухудшению свойств на втором этапе старения, что ведет к снижению их долговечности [13].

Ввиду того, что химические процессы, происходящие во время старения, являются основным определяющим фактором изменений свойств битумного вяжущего, повышения устойчивости к старению можно добиться посредством введения различных химических добавок-ингибиторов старения. В качестве таковых известно применение антиоксидантов для смазочных масел, таких как фенотиазин и алкилфенилдиамин, фенолы [22]. В работе китайских исследователей [20] показано, что добавление лигнина в состав битумного вяжущего позволяет уменьшить динамику изменения после старения таких показателей, как пенетрация, температура размягчения, вязкость. В статье [18] описано влияние ингибитора старения на основе масляного антиоксиданта и полифосфорной кислоты на свойства вяжущего и асфальтобетонной смеси, подвергнутых старению.

Но наиболее эффективным способом снижения старения битума является понижение температур приготовления и укладки – применение технологий теплых асфальтобетонных смесей [16; 23]. Добавки, используемые для приготовления теплых асфальтобетонов, также могут выступать в роли химических ингибиторов процессов термодеструкции. Так, исследования [16; 24; 25] показывают, что значительно снизить скорость старения вяжущего можно при введении температуропонижающих катионных ПАВ на основе имидазолинов и амидоаминов. Данные, полученные в работе [19] показали, что использование в качестве добавки синтетического воска Sasobit позволяет не только снизить температуру приготовления асфальтобетонной смеси, но и замедлить интенсивность старения вяжущего. Таким образом, при подборе новых эффективных модификаторов битумного вяжущего и асфальтобетона, важно оценить их влияние на интенсивность процессов старения.

Целью статьи является оценка влияния комплексной добавки на основе органических восков Вискодор ПВ-2 по сравнению с импортной добавкой на интенсивность процессов технологического старения модифицированного битумного вяжущего и асфальтобетона на его основе.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования в работе выступали образцы исходного битума без добавок и модифицированных органическими температуропонижающими добавками Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100, а также асфальтобетонные смеси типа Б марки III, приготовленные на основе указанных битумных вяжущих в соответствии с ГОСТ 9128-2013. Добавка Вискодор ПВ-2 является комплексной добавкой на основе синтетических восков, растительных пластификаторов и катионных ПАВ, разработанной кафедрой автомобильно-железных дорог им. А. М. Гридинина Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова совместно с НПК ООО «Селена». Добавка Licomont BS-100 является амидным воском производства швейцарской компании «Clariant» и была выбрана в данном исследовании для сравнения эффективности как широко известная восковая добавка [23]. В качестве битумного вяжущего был выбран битум БНД 70/100 производства АО «Газпромнефть – Московский НПЗ». Для приготовления асфальтобетонной смеси типа Б марки III использовали щебень фракции 5–20 мм производства ООО «Выбор-С», песок производства АО «Лебединский ГОК», минеральный порошок МП-2 производства ООО «ВЗМТ».

Для оценки влияния исследуемых добавок на интенсивность технологического старения, исходный битум, а также образцы модифицированного вяжущего подвергались старению по методу RTFOT согласно ГОСТ 33140-2014, а также по методу упрощенного кратковременного старения УСК на специальных пластинах при температуре 150 °C в течение 50 минут по ГОСТ 70243-2022, являющимся альтернативным способом оценки кратковременного старения [26]. Согласно указанным ГОСТ было определена потеря массы в образцах после старения. Затем исходное и состаренное вяжущее было исследовано на показатели температуры размягчения (по ГОСТ 33142-2014) и температуры хрупкости (по ГОСТ 33143-2014). Для несостаренного вяжущего и для образцов после RTFOT было определено изменение показателя пенетрации при 25 °C (по ГОСТ 33136-2014). Для образцов, состаренных по методу УСК, ввиду малого количества получаемого материала, данный показатель не определялся. Приготовление асфальтобетонных смесей производилось путем нагрева до требуемой температуры и перемешивания до однородности расчетного количества вяжущего и минерального заполнителя в лабораторном смесителе. Температура приготовления асфальтобетонной смеси без добавки составляла 165 °C, с добавкой – 135 °C. Для моделирования процессов

старения, смеси выдерживались при температуре их приготовления от 30 до 120 минут, затем охлаждались до температуры формования образцов для испытания (135 °C для асфальтобетонной смеси без добавки и 110 °C для смесей с добавками). О старении асфальтобетонной смеси судили по изменению физико-механических показателей, таких как предел прочности при сжатии при 50 и 20 °C, водостойкость и трещиностойкость, определяемых по стандартным методикам согласно ГОСТ 12801. Для оценки интенсивности старения по всем тестируемым показателям были определены коэффициенты старения по формуле, предложенной сотрудниками Поволжского государственного технологического университета [21]:

$$K_{ст} = \frac{\Pi_{ni}^{t_{пр}}}{\Pi_{ni}^{pr=0}},$$

где $\Pi_{ni}^{t_{пр}}$ – значение n -го физико-химического свойства образца асфальтобетона из смеси после термостатирования при высокой температуре;
 $\Pi_{ni}^{pr=0}$ – значение того же показателя до прогрева.

Результаты исследования кратковременного старения исходного и модифицированного битумного вяжущего представлены в таблице 1.

Таблица 1. Изменение физико-химических показателей вяжущего после старения

Наименование показателя	Без прогрева	После старения методом RTFOT по ГОСТ 33140-2014	После старения методом упрощенного кратковременного старения УСК по ГОСТ 70243-2022
Битум БНД 70/100 без добавок			
Пенетрация при 25 °C, 0,1 мм	81	62	–
Температура размягчения по КиШ, °C	48,0	53,0	53,5
Температура хрупкости, °C	–22	–18	–17
Изменение массы после прогрева, %	–	0,38	0,42
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	–	5	5,5
Остаточная пенетрация при 25 °C, %	–	76,5	–
Изменение температуры хрупкости, С	–	4	5
Битумное вяжущее с 2 % Вискодор ПВ-2			
Пенетрация при 25 °C, 0,1 мм	72	63	–
Температура размягчения по КиШ, °C	67,0	69,0	69,5
Температура хрупкости, °C	–24	–22	–22
Изменение массы после прогрева, %	–	0,19	0,23
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	–	2,0	2,5
Остаточная пенетрация при 25 °C, %	–	87,5	–
Изменение температуры хрупкости, С	–	2	2
Битумное вяжущее с 2 % Licomont BS-100			
Пенетрация при 25 °C, 0,1 мм	68	54	–
Температура размягчения по КиШ, °C	68,5	72,0	72,5
Температура хрупкости, °C	–21	–18	–18
Изменение массы после прогрева, %	–	0,27	0,31
Изменение температуры размягчения после прогрева, °C	–	3,5	4,0
Остаточная пенетрация при 25 °C, %	–	79,4	–
Изменение температуры хрупкости, С	–	3	3

Согласно полученным результатам, показатели изменения массы, а также температур хрупкости и размягчения для образцов после старения вяжущего по методам RTFOT и УСК близки по значению, что подтверждает возможность использования метода УСК в качестве альтернативного методу RTFOT для определения интенсивности технологического старения.

При старении образцов как исходного, так и модифицированного вяжущего наблюдается увеличение температуры размягчения и температуры хрупкости, а также снижение показателя пенетрации. Это свидетельствует об увеличении жесткости вяжущего, снижении его пластичности и переходе в более хрупкое состояние, что будет негативно отражаться на эксплуатационных свойствах асфальтобетона. Такие изменения обусловлены протеканием процессов деструкции компонентов битума, приводящей к снижению содержания в битуме масляных и повышению смолисто-асфальтеновых фракций [8; 10]. О протекании процессов деструкции, сопровождаемых выделением газообразных веществ, свидетельствует и уменьшение массы образцов после старения. Наиболее интенсивное старение, характеризующееся большими значениями изменения массы после прогрева, увеличения температур размягчения и хрупкости, снижения пенетрации, наблюдается для образца исходного битума.

Введение органических добавок Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 повышает структурированность вяжущего, что выражается в увеличении температуры размягчения и снижению пенетрации при 25 °С вяжущего и будет оказывать положительное влияние на прочностные свойства асфальтобетонного покрытия. При этом исследуемые добавки позволяют заметно снизить интенсивность старения вяжущего, что выражается в менее значительном изменении физико-химических показателей. Наиболее высокую способность ингибировать процессы старения показала добавка Вискодор ПВ-2. Так, изменение массы после старения для вяжущего с Вискодор ПВ-2 снижается в 2, а с Licomont BS-100 – в 1,4 раза в сравнении с исходным битумом. Изменение температуры размягчения после старения по методам RTFOT и УСК для исходного битума составляет 5 и 5,5 °С соответственно, для вяжущего с Licomont BS-100 изменения составляют 3,5 и 4,0 °С, а для вяжущего с Вискодор ПВ-2 всего 2,0 и 2,5 °С соответственно. Температура хрупкости исходного битума после старения повышается на 4–5 °С, а температура хрупкости вяжущих, модифицированных Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2, ухудшается после старения лишь на 3 и 2 °С соответственно. Также битум, модифицированный Вискодор ПВ-2 обладает наибольшей остаточной пенетрацией после старения (87,5 %) в сравнении с остаточной пенетрацией исходного (76,5 %) и модифицированного Licomont BS-100 (79,4 %) вяжущего. Таким образом вяжущее, модифицированное Вискодор ПВ-2 после старения больше сохраняет свои пластические свойства, чем образцы исходного битума и битума с Licomont BS-100. Замедление процессов старения при использовании добавок позволит лучше сохранить пластические свойства вяжущего и устойчивость его к разрушению под воздействием нагрузок и низких температур при эксплуатации.

Старение битума приводит к изменению физико-механических свойств асфальтобетона, что снижает качество дорожного покрытия. Результаты исследования изменений свойств асфальтобетонных смесей, приготовленных на основе исходного и модифицированных вяжущих после старения представлены в таблице 2 и на рисунке.

Анализируя представленные в таблице 2 результаты, можно отметить, что образцы полученные из асфальтобетонных смесей с применением исследуемых добавок, приготовленных при температуре 135 °С и уплотненные при 110 °С практически идентичны по показателю плотности образцам из асфальтобетонной смеси без добавки, приготовленной при температуре 165 °С и уплотненным при 135 °С, что свидетельствует о том, что тестируемые добавки могут быть использованы как температуропонижающие для приготовления теплого асфальтобетона. Плотность образцов, заформованных после термостатирования при температурах приготовления не изменяется по сравнению с образцами, приготовленными без термостатирования смеси. Таким образом, данный показатель не является информативным при оценке скорости старения

Согласно результатам, полученным при выдержке асфальтобетонных смесей при температуре их приготовления в период от 30 до 120 минут, можно отметить тенденцию к возрастанию всех прочностных показателей. При этом наиболее значительные изменения наблюдаются при тестировании показателей предела прочности при 20 и 50 °С (таблица 2). Подобная динамика изменений показателей наблюдалась и в работах [8; 12; 16]. В течение всего испытанного времени термостатирования от 30 до 120 минут происходит постепенный прирост показателей, что свидетельствует о том, что в данном случае асфальтобетонная смесь подвергается первому этапу старения, во время которого происходит упрочнение коллоидной структуры и возрастание вязкости битумного вяжущего [13].

Как видно из таблицы 2, показатели пределов прочности смесей, модифицированных добавками Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100, выше, чем у смеси на исходном битуме без добавок. Это связано с упрочнением структуры вяжущего восками, входящими в состав используемых добавок и положительно скажется на эксплуатационных свойствах дорожного покрытия в условиях высоких транспортных нагрузок.

При оценке интенсивности старения по показателям прочности при 20 и 50 °С, можно отметить, что прирост прочности для смеси без добавки значительно выше, чем для смесей с добавками. Наименьший прирост прочности наблюдается при использовании добавки Вискодор ПВ-2, что отражается на значениях

Таблица 2. Изменение характеристик асфальтобетона в результате старения

Наименование показателя	Время термостатирования, час				
	Без прогрева	0,5	1	1,5	2
Асфальтобетонная смесь на исходном битуме без добавок					
Средняя плотность, г/см ³	2,42	2,43	2,43	2,43	2,43
Предел прочности при 20 °C, МПа	3,5	3,9	4,3	4,6	4,7
Предел прочности при 50 °C, МПа	1,1	1,2	1,4	1,7	1,8
Предел прочности водонасыщенных образцов, МПа	2,9	3,4	3,8	4,1	4,3
Водостойкость	0,83	0,87	0,88	0,89	0,91
Трещиностойкость	3,7	3,9	4,2	4,4	4,5
Коэффициент старения по прочности при 20 °C		1,11	1,23	1,31	1,34
Коэффициент старения по прочности при 50 °C		1,09	1,27	1,55	1,64
Коэффициент старения по водостойкости		1,05	1,06	1,07	1,07
Коэффициент старения по трещиностойкости		1,05	1,14	1,19	1,22
Асфальтобетонная смесь на битумном вяжущем с 2 % Вискодор ПВ-2					
Средняя плотность, г/см ³	2,43	2,43	2,43	2,43	2,44
Предел прочности при 20 °C, МПа	4,5	4,6	4,9	5,2	5,3
Предел прочности при 50 °C, МПа	1,5	1,6	1,8	1,9	2
Предел прочности водонасыщенных образцов, МПа	3,9	4,1	4,4	4,8	4,9
Водостойкость	0,87	0,89	0,90	0,92	0,92
Трещиностойкость	3,8	3,9	4,1	4,2	4,2
Коэффициент старения по прочности при 20 °C		1,02	1,09	1,16	1,18
Коэффициент старения по прочности при 50 °C		1,07	1,20	1,27	1,33
Коэффициент старения по водостойкости		1,02	1,03	1,06	1,06
Коэффициент старения по трещиностойкости		1,03	1,08	1,10	1,10
Асфальтобетонная смесь на битумном вяжущем с 2 % Licomont BS-100					
Средняя плотность, г/см ³	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43
Предел прочности при 20 °C, МПа	4,3	4,5	4,9	5,2	5,4
Предел прочности при 50 °C, МПа	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1
Предел прочности водонасыщенных образцов, МПа	3,7	4,0	4,4	4,8	4,9
Водостойкость	0,86	0,89	0,90	0,91	0,92
Трещиностойкость	3,6	3,7	4,0	4,2	4,2
Коэффициент старения по прочности при 20 °C		1,05	1,14	1,21	1,26
Коэффициент старения по прочности при 50 °C		1,07	1,21	1,36	1,50
Коэффициент старения по водостойкости		1,03	1,05	1,07	1,07
Коэффициент старения по трещиностойкости		1,03	1,11	1,17	1,17

коэффициентов старения по прочности (таблица 2) и отражено на графиках А и Б на рисунке. Так, после 120 минут термостатирования смеси без добавок увеличение прочности при 20 и 50 °C составляет 34,3 и 63,6 %, для смеси с Licomont BS-100 данные показатели возрастают на 25,6 и 50,0 %, а для смеси с Вискодор ПВ-2 – только на 17,8 и 33,3 %. Это свидетельствует о том, что снижение температуры приготовления, а также введенные добавки обладают ингибирующим действием на процессы старения вяжущего. Наибольшая эффективность Вискодор ПВ-2 объясняется наличием в составе этой добавки катионных ПАВ, которые замедляют процессы деструкции вяжущего [25].

Водостойкость асфальтобетонных смесей с исследуемыми добавками при оценке на этапе до технологического старения значительно выше, чем у контрольной смеси без добавок. Таким образом, добавки Licomont BS-100 и Вискодор ПВ-2 позволят улучшить устойчивость асфальтобетонного покрытия к разрушающему воздействию воды и повысят долговечность асфальтобетонного покрытия.

В результате технологического старения, показатель водостойкости возрастает для всех тестируемых асфальтобетонных смесей, что связано с повышением прочности на первом этапе процессов старения. В данном случае также выявлена тенденция к понижению интенсивности прироста показателя при использовании органических добавок и более низкой температуре приготовления. Изменения выражены менее значительно по сравнению с другими тестируемыми показателями. Так, изменение водостойкости при термостатировании в течение 120 минут асфальтобетонной смеси без добавок составляет 7,2 %, смеси с Licomont BS-100 – 7,0 %, а смеси с Вискодор ПВ-2 – 5,8 %.

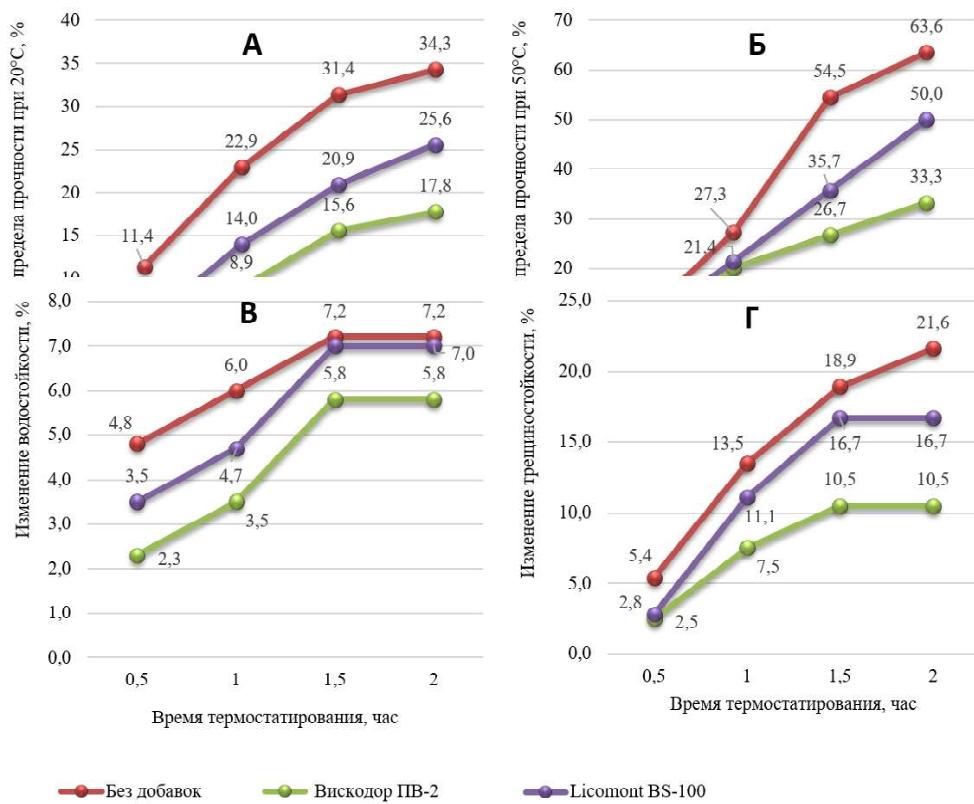


Рисунок – Изменения прочностных свойств асфальтобетона в результате термоокислительного старения асфальтобетонной смеси: А – предела прочности при 20 °C; Б – предела прочности при 50 °C; В – водостойкости; Г – трещиностойкости.

Анализ показателей трещиностойкости показывает, что внесение Licomont BS-100 несколько снижает данный показатель по сравнению со смесью без добавок, что связано со способностью восков понижать низкотемпературную устойчивость вяжущего, в то время как введение Вискодор ПВ-2 не только не снижает, но и повышает трещиностойкость, что связано с наличием в составе добавки ПАВ и пластификаторов и положительно отразится на устойчивости дорожного полотна в зимний период.

В результате термостатирования при температурах приготовления показатель трещиностойкости возрастает, что также связано с повышением когезии вяжущего при упрочнении коллоидной структуры на первом этапе старения. Интенсивность прироста также наибольшая для смеси без добавок – прирост за 120 минут составил 21,6 %, и наименьшая для смеси с добавкой Вискодор ПВ-2 – прирост 10,5 % (график Г рисунка), что также свидетельствует о способности добавки снижать интенсивность процессов старения. В свою очередь, замедление деструкционных процессов позволит лучше сохранить пластические свойства битумного вяжущего, повысит срок службы дорожного покрытия и сократит расходы на ремонтные работы.

ВЫВОДЫ

- Установлено, что добавки на основе синтетических восков Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 обладают ингибиторным действием на процессы старения битумного вяжущего, что выражается в менее значительном изменении массы, пенетрации при 25 °C, температур размягчения и хрупкости после старения, чем в исходном вяжущем. Наибольший эффект замедления процессов старения выявлен у добавки Вискодор ПВ-2, что связано с наличием в составе добавки не только восков, но и катионных ПАВ, являющихся дополнительными ингибиторами старения.

- Выявлено, что добавки Вискодор ПВ-2 и Licomont BS-100 не только обладают температуропонижающим эффектом при производстве асфальтобетонной смеси, но и повышают ее прочность и водостойкость, что позволит улучшить устойчивость дорожного покрытия к воздействию нагрузок и атмосферных осадков.

3. Показано, что исследуемые восковые добавки снижают интенсивность изменения во время старения таких показателей асфальтобетонной смеси, как прочность, водостойкость и трещиностойкость, что свидетельствует о замедлении скорости протекания деструктивных процессов в битумном вяжущем в процессе технологического старения.

4. Установлено, что эффективность применения разработанной комплексной добавки Вискодор ПВ-2 в составе теплой асфальтобетонной смеси не только не уступает импортной Licomont BS-100, но и по ряду показателей превосходит ее – обладает большей трещиностойкостью и значительнее замедляет процессы старения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Obtaining Energy Efficient Polymer-Bitumen Binders Using Polymer-Bitumen Concentrate / V. V. Yadykina [et al.]. // Innovations and Technologies in Construction: сб. трудов конф. (Белгород, 09-10 марта 2022 года). Vol. 307. Белгород: Springer Nature Switzerland AG, 2023. P. 40-48. DOI 10.1007/978-3-031-20459-3_6. EDN QCHCGQ.
2. Yadykina V. V. Navolokina S. N., Gridchin A. M. Improving the Bitumen Quality Through the Comprehensive Polymer-Based Modification // Materials Science Forum. 2020. Vol. 992. P. 238-242. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.238. EDN QZLFQX.
3. Ядыкина В. В., Холопов В. С., Михайлова О. А. Изменение свойств битума, модифицированного температуропонижающими добавками // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. Вып. 2022-3(155) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. С. 100-104. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-3\(155\)/st_16_yadikina_holopov_mihaylova.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-3(155)/st_16_yadikina_holopov_mihaylova.pdf) (дата обращения: 02.03.2025). ISSN 2519-2817 online.
4. Траутвайн А. И., Ядыкина В. В., Землякова Д. В. Выбор адгезионных добавок для повышения термостабильности битума // Дороги и мосты. 2014. N 1(31). С. 225-240. ISSN 1815-896X. EDN SMVCKL.
5. Ядыкина В. В., Михайлова О. А. Влияние температуропонижающих добавок на основе синтетических восков на свойства битума // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2023. N 3. С. 8-18. ISSN 2071-7318. DOI 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18. EDN OFVUEB.
6. Стукалов А. А. О закономерностях и критериях, характеризующих процессы старения асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2012. Вип. 2012-1(93) Сучасні будівельні матеріали. С. 144-151. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2012/maket_2012-1\(93\).pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2012/maket_2012-1(93).pdf) (дата обращения: 02.03.2025). ISSN 1814-3296.
7. Губа В. В., Губа К. Р., Третьякова Л. Н. Изменение состава, структуры и текстуры асфальтобетона в процессе эксплуатации // Вести Автомобильно-дорожного института. 2023. N 3(46). С. 17-24. EDN QLGXDH.
8. Салахова В. К., Рудакова Л. В., Пугин К. Г. Оценка влияния полиэтилена низкого давления на процесс старения асфальтобетона // Управление техносферой. 2023. Т. 6, N 2. С. 142-157. DOI 10.34828/UdSU.2023.86.23.002. EDN ECHXWO.
9. Стукалов А. А., Бугаец А. А., Шабля В. В. Особенности технологического старения нефтяного дорожного битума в составе асфальтования вещества // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2022. Вып. 2022-1(153) Современные строительные материалы. С. 104-107. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-1\(153\)/st_14_stukalov_bugaez_schablya.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-1(153)/st_14_stukalov_bugaez_schablya.pdf) (дата обращения: 02.03.2025). ISSN 25192817 online.
10. Братчун В. И., Пактер М. К., Стукалов А. А. Прогнозирование изменения группового состава при технологическом старении дорожного битума // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2015. Вып. 2015-1(111) Современные строительные материалы. С. 12-20. URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2015/vestnik_2015-1\(111\).pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2015/vestnik_2015-1(111).pdf) (дата обращения: 02.03.2025). ISSN 1814-3296.
11. Изменения свойств асфальтобетонов в процессе старения / А. Д. Чудайкин [и др.]. // Строительная механика и конструкции. 2023. N 2(37). С. 98-107. DOI 10.36622/VSTU.2023.37.2.010. EDN GSZXQG.
12. Кузнецов Д. А., Агамян Б. С., Барапов Т. Р. Устойчивость к образованию трещин при старении асфальтобетона с пористыми минеральными порошками // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2013. N 6. С. 43-45. EDN RPJPJJ.
13. Старение асфальтовых вяжущих в асфальтобетонах для покрытий автомобильных дорог / М. Г. Салихов [и др.]. // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2020. Т. 1. С. 341-346. EDN MUSWHE.
14. Салихов М. Г., Малянова Л. И., Веюков Е. В. Изучение трещиностойкости и сдвигустойчивости асфальтобетонов в процессе температурного старения // Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук: сб. научных трудов; отв. редактор В. Н. Бобылев. Вып. 22. Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. С. 243-246. EDN SOSNХЕ.
15. Салихов М. Г., Илиеванов В. Ю., Малянова Л. И. Изучение температурного старения модифицированного щебеноочно-мастичного асфальтобетона с отходами дробления известняков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2017. Т. 1. С. 216-220. EDN ZULMJH.

16. Влияние температуропонижающей добавки на старение битума и асфальтобетона / В. В. Ядыкина [и др.]. // Региональная научно-техническая конференция по итогам ориентированных фундаментальных исследований по междисциплинарным темам, проводимого Российским фондом фундаментальных исследований и Правительством Белгородской области: сб. докладов конф. (Белгород, 25-26 февраля 2016 года). Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2016. С. 334-342. EDN XDYTEB.
17. Aging Effects on the Physico-Chemical Change of Asphalt and Mixture Performance / B. W. Lee [et al.]. // International Journal of Highway Engineering. 2020. Vol. 22, N. 2. P. 23-31. DOI 10.7855/ijhe.2020.22.2.023.
18. Experimental Study on Anti-Aging Effect of Asphalt Binder Liquid Anti-Aging Agent / Ch. Fu [et al.]. // Buildings. 2024. Vol. 14, N. 4. P. 1023. DOI 10.3390/buildings14041023.
19. Effect of Sasobit Warm Mix on Micro Properties of Asphalt with Different Degrees of Regeneration / B. Tong [et al.]. // Frontiers in Materials. 2022. N 9. P. 01-10. DOI 10.3389/fmats.2022.950550.
20. Fu X., He M., Liu Yu. Research on Short-term Aging of Lignin Modified Asphalt // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 233. P. 01125. DOI 10.1051/e3sconf/202123301125. EDN QEPIRA.
21. Способ определения скорости и интенсивности старения асфальтобетонов: пат. N 2654954 Рос. Федерация. N 2017104604 / М. Г. Салихов [и др.]: заявл. 13.02.2017: опубл. 23.05.2018, 8 с. EDN ZEFSRN.
22. Изменение состава асфальтенов при старении битума в присутствии антиоксидантов / И. М. Зайдуллин [и др.]. // Журнал прикладной химии. 2013. Т. 86, N 7. С. 1137-1142. EDN AYVSZL.
23. Алишахван А., Калгин Ю. И. Обзор технологий приготовления тёплых асфальтобетонных смесей // Молодой ученый. 2019. N 32 (270). С. 102-107. EDN GMJKRE.
24. Влияние адгезионных присадок на старение окисленного битума дорожного назначения / И. И. Мухаматдинов [и др.]. // Химия в интересах устойчивого развития. 2021. Т. 29, N 6. С. 683-690. DOI 10.15372/KhUR2021347. EDN EWNNBQ.
25. Ермак А. А., Михайловский Е. В., Мандрика И. А. Влияние продукта взаимодействия рапсового масла с диэтилентриамином на свойства дорожного битума // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2012. N 11. С. 117-121.
26. Симчук Е. Н., Харпаев А. В., Рожков И. М. Современные подходы к моделированию старения битумных вязущих материалов в лабораторных условиях // Дороги и мосты. 2022. N 2(48). С. 274-306. EDN HUWSYA.

REFERENCES

1. Yadykina, V.V., Denisov, V.P., Akimov, A.E. and Vyrodova, K.S. (2023), "Obtaining Energy Efficient Polymer-Bitumen Binders Using Polymer-Bitumen Concentrate", *sb. trudov konf.* [collection of works of the conf.], Innovations and Technologies in Construction, Belgorod, Russia, 09-10 March 2022, vol. 307, pp. 40-48. DOI 10.1007/978-3-031-20459-3_6. EDN QCHCGQ.
2. Yadykina, V.V., Navolokina, S.N. and Gridchin, A.M. (2020), "Improving the Bitumen Quality Through the Comprehensive Polymer-Based Modification", *Materials Science Forum*, vol. 992, pp. 238-242. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.238. EDN QZLFQX.
3. Yadykina, V.V., Kholopov, V.S. and Mikhaylova, O.A. (2022), "Changing the Properties of Bitumen Modified with Temperature-Reducing Additives", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2022-3(155) Buildings and structures using new materials and technologies, pp. 100-104, available at: [https://donna.su/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-3\(155\)/st_16_yadikina_holopov_mihaylova.pdf](https://donna.su/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-3(155)/st_16_yadikina_holopov_mihaylova.pdf) (Accessed 02 March 2025). ISSN 25192817 online.
4. Trautvain, A.I., Yadykina, V.V. and Zemlyakova, D.V. (2014), "Choice of Adhesion Additives for Increasing the Thermal Stability of Bitumen", *Roads and Bridges*, no. 1(31), pp. 225-240. EDN SMVCKL.
5. Yadykina, V.V. and Mihaylova, O.A. (2023), "The Effect of Temperature-Reducing Additives Based on Synthetic Waxes on the Properties of Bitumen", *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, no. 3, pp. 8-18. ISSN 2071-7318. DOI 10.34031/2071-7318-2022-8-3-8-18. EDN OFVUEB.
6. Stukalov, A.A. (2012), "About the Rules and Criteria Characterizing Aging Process of Asphalt Mixtures and Asphalt Concrete", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2012-1(93), pp. 144-151, available at: [https://donna.su/publish_house/journals/vestnik/2012/maket_2012-1\(93\).pdf](https://donna.su/publish_house/journals/vestnik/2012/maket_2012-1(93).pdf) (Accessed 02 March 2025). ISSN 1814-3296.
7. Guba, V.V., Guba, K.R. and Tretiakova, L.N. (2023), "Changes in the Asphalt Concrete Composition, Structure and Texture During Operation", *Bulletin of the Automobile and Highway Institute*, no. 3(46), pp. 17-24. EDN QLGXDH.
8. Salakhova, V.K., Rudakova, L.V. and Pugin, K.G. (2023), "Assessment of Low-Pressure Polyethylene Effect on Asphalt Concrete Ageing Process", *Management of the Technosphere*, vol. 6, no. 2, pp. 142-157. DOI 10.34828/UdSU.2023.86.23.002. EDN ECHXWO.
9. Stukalov, A.A., Bugayets, A.A. and Shablia, V.V. (2022), "Features of Technological Aging of Oil Road Bitumen in the Composition of Asphalt Binder", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, issue 2022-1(153) Modern building materials, pp. 104-107, available at: [https://donna.su/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-1\(153\)/st_14_stukalov_bugaez_schablya.pdf](https://donna.su/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-1(153)/st_14_stukalov_bugaez_schablya.pdf) (Accessed 02 March 2025). ISSN 25192817 (online).
10. Bratchun, V.I., Pakter, M.K. and Stukalov, A.A. (2015) "Prediction of changes in group composition during technological aging of road bitumen", *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*,

- issue 2015-1(111) *Modern building materials*, pp. 12-20, available at: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2015/vestnik_2015-1\(111\).pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2015/vestnik_2015-1(111).pdf) (Accessed 02 March 2025). ISSN 1814-3296.
11. Chudaykin, A.D., Ryabova, O.V., Minakov, A.S. and Polyakov, R.S. (2023), "Changes in the Properties of Asphalt Concrete in the Process of Aging", *Structural Mechanics and Structures*, no. 2(37), pp. 98-107. DOI 10.36622/VSTU.2023.37.2.010. EDN GSZXQG.
 12. Kuznetsov, D.A., Agamian, B.S. and Baranov, T.R. (2013), "Resistance to Cracking During Aging of Asphalt Concrete with Porous Mineral Powders", *Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov*, no. 6, pp. 43-45. EDN RPJPJJ.
 13. Salikhov, M.G., Veyukov, E.V., Malyanova, L.I. and Gaifullina, A.Z. (2020), "Aging of Asphalt Binders in Asphalt Concrete for Road Surfaces", *Modernizaciya i Nauchnye Issledovaniya v Transportnom Komplekse*, vol. 1, pp. 341-346. EDN MUSWHE.
 14. Salikhov, M.G., Malyanova, L.I. and Veyukov, E.V. (2019), "Study of Crack Resistance and Shear Resistane of Asphalt Concreteas Temperature Aging", *Bulletin of the Volga Territorial Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences: collection of scientific papers; editor-in-Chief V. N. Bobylev*, vol. 22, pp. 243-246. EDN SOSNXE.
 15. Salikhov, M.G., Ilivanov, V.Yu. and Malyanova, L.I. (2017), "Study of Temperature Aging of Modified Crushed Stone-Mastic Asphalt Concrete with Limestone Crushing Wastes", *Modernizaciya i Nauchnye Issledovaniya v Transportnom Komplekse*, vol. 1, pp. 216-220. EDN ZULMJH.
 16. Yadykina, V.V., Gridchin, A.M., Kholopov, V.S. and Trautvain, A.I. (2016), "Effect of Temperature-Reducing Additive on Bitumen and Asphalt Concrete Aging", *sb. dokladov konf. [collection of papers from the conf.]*, *Regional'naya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya po itogam orientirovannyx fundamental'nyx issledovanij po mezhdisciplinarnym temam, provodimogo Rossijskim fondom fundamental'nyx issledovanij i Pravitel'stvom Belgorodskoj oblasti* [Regional scientific and technical conference on the results of oriented fundamental research on interdisciplinary topics, conducted by the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Belgorod region], Belgorod, Russia, 25-26 February 2016, pp. 334-342. EDN XDYTEB.
 17. Lee, B.W., Hwang, E.Y., Hiroki, H. and Makoto, H. (2020), "Aging Effects on the Physico-Chemical Change of Asphalt and Mixture Performance", *International Journal of Highway Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 23-31. DOI 10.7855/ijhe.2020.22.2.023. EDN FMUQTP.
 18. Fu, Ch., Wang, Zh., Song, Sh., Yao, Xi., Wang, F., Wie, L., and Guo, M. (2024), "Experimental Study on Anti-Aging Effect of Asphalt Binder Liquid Anti-Aging Agent", *Buildings*, vol. 14, no. 4, pp. 1023. DOI 10.3390/buildings14041023.
 19. Tong, B., Song, X., Shen, J., Jiang, T., Chen, J. and Niu, J. (2022), "Effect of Sasobit Warm Mix on Micro Properties of Asphalt with Different Degrees of Regeneration", *Frontiers in Materials*, no. 9, pp. 01-10. DOI 10.3389/fmats.2022.950550.
 20. Fu, X., He, M. and Liu, Yu. (2021), "Research on Short-term Aging of Lignin Modified Asphalt", *E3S Web of Conferences*, vol. 233, pp. 01125. DOI 10.1051/e3sconf/202123301125. EDN QEPIRA.
 21. Salikhov, M.G., Veyukov, E.V., Sabirov, L.R. and Malyanova, L.I. Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vy'sshego obrazovaniya "Povelzhskij gosudarstvennyj texnologicheskij universitet" (2018), *Sposob opredeleniya skorosti i intensivnosti starenija asfal'tobetonov* [Method for determining the rate and intensity of aging of asphalt concrete], Federal Service for Intellectual Property, Yoshkar-Ola, RU, Pat. N 2654954.
 22. Zaidullin, I.M., Petrova, L.M., Yakubov, M.R. and Borisov, D.N. (2013), "Variation of the Composition of Asphaltenes in the Course of Bitumen Aging in the Presence of Antioxidants", *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 86, no. 7, pp. 1137-1142. EDN AYVSZL.
 23. Alshahyan, A. and Kalgin, Yu.I. (2019), "Review of Technologies for Preparation of Warm Asphalt-Concrete Mixtures", *Young Scientist*, no. 32(270), pp. 102-107. EDN GMJKRE.
 24. Mukhamatdinov, I.I., Fakhretdinov, P.S., Kemalov, A.F. and Galimullin, I.N. (2021), "Influence of Adhesive Additives on the Aging of Oxidized Road Bitumen", *Chemistry in the Interests of Sustainable Development*, vol. 29, no. 6, pp. 683-690. DOI 10.15372/KhUR2021347. EDN EWNNBQ.
 25. Ermak, A.A., Mikhailovsky, E.V. and Mandrika, I.A. (2012), "Influence of the product of interaction of rapeseed oil with diethylene triamine on the properties of road bitumen", *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye Nauki*, no. 11, pp. 117-121.
 26. Simchuk, E.N., Kharpaev, A.V. and Rozhkov, I.M. (2022), "Modern Approaches to Modeling the Aging of Bitumen Binders in the Laboratory", *Roads and Bridges*, no. 2(48), pp. 274-306. EDN HUWSYA.

Информация об авторах

Михайлова Ольга Анатольевна – аспирант кафедры автомобильных и железных дорог им. А. М. Гридчина Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия. Научные интересы: разработка эффективных модифицирующих добавок для получения битумного вяжущего и асфальтобетонов с улучшенными свойствами.

Ядыкина Валентина Васильевна – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных и железных дорог им. А. М. Гридчина Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова, Белгород, Россия. Научные интересы: развитие теоретических основ создания эффективных дорожно-строительных материалов.

Information about the authors

Mikhailova Olga A. – post-graduate student of the Department of Automobile and railroads department named after A. M. Gridchin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia. Scientific interests: development of effective modifying additives for bituminous binder and asphalt concrete with improved properties.

Yadykina Valentina V. – Sc. D. (Eng.), Professor of the Department of Automobile and Railroads named after A. M. Gridchin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russia. Shukhov, Belgorod, Russia. Scientific interests: development of theoretical bases of creation of effective road-building materials.

Вклад авторов:

Михайлова О. А. – обзор научной литературы; описание методов и материалов исследования; проведение исследования и интерпретация результатов испытаний; подготовка и оформление статьи.

Ядыкина В. В. – научное руководство при подготовке статьи; постановка цели и задач исследования; корректировка выводов.

Contribution of the authors:

Mikhailova O. A. – review of scientific literature; description of research methods and materials; conducting research and interpretation of test results; preparation and design of the article.

Yadykina V. V. – scientific guidance in the preparation of the article; setting the goal and objectives of the study; adjustment of conclusions.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.03.2025; одобрена после рецензирования 18.04.2025; принята к публикации 25.04.2025.

The article was submitted 21.03.2025; approved after reviewing 18.04.2025; accepted for publication 25.04.2025.