

Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 33–44.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2021; (9): 33–44.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.32:678.049.2

DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-33-44

## БИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДИФИКАТОРЫ ДЛЯ БИТУМНЫХ СИСТЕМ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ

**Владимир Петрович Киселёв, Людмила Алексеевна Иванова,  
Валентина Аркадьевна Шевченко, Александр Алексеевич Ефремов,  
Ольга Анатольевна Иванова**

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

**Аннотация.** В работе приведены результаты исследования по подбору бифункциональных стабилизирующих добавок для битумных материалов, обладающих свойствами антиоксидантов и токсикантов микробиологических систем. Добавки предназначены для предотвращения окислительной деструкции битума и снижения биологического ферментативного воздействия микроорганизмов при эксплуатации материалов на основе битума. В качестве бифункциональных добавок предложены антиоксиданты ионол (фирмы Schell США) и Vulkanox BKF (Китай), продукты сухой перегонки древесины березы, оболочки плодов маньчжурского ореха и индольная фракция каменноугольной смолы. Установлена высокая эффективность добавок в качестве антиоксидантов и токсикантов, угнетающих развитие светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum*.

**Ключевые слова:** битум, окислительная деструкция, бифункциональные добавки – стабилизаторы свойств, токсиканты для микроорганизмов

**Для цитирования:** Киселев В.П., Иванова Л.А., Шевченко В.А., Ефремов А.А., Иванова О.А. Бифункциональные модификаторы для битумных систем из возобновляемого природного сырья // Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 33–44. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-33-44.

Original article

## BICOMPONENT MODIFIERS FOR BITUMEN SYSTEMS FROM RENEWABLE NATURAL RAW MATERIALS

**Vladimir P. Kiselev, Lyudmila A. Ivanova, Valentina A. Shevchenko,  
Aleksandr A. Efremov, Olga A. Ivanova**  
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** The paper presents the results of a study on the selection of bifunctional stabilizing additives for bitumen materials with the properties of antioxidants and toxicants of microbiological systems. Additives are designed to prevent the oxidative degradation of bitumen and reduce the biological enzymatic effects of microorganisms during the operation of bitumen-based materials. Antioxidants ionol (Schell USA) and Vulkanox BKF (China) are proposed as bifunctional additives; products of dry distillation of birch

© Киселёв В.П., Иванова Л.А., Шевченко В.А., Ефремов А.А., Иванова О.А.,  
2021

wood, Manchurian nut fruit shells and indole fraction of coal tar. The high efficiency of additives as antioxidants and toxicants inhibiting the development of luminous bacteria *Photobacterium phosphoreum* has been established.

**Keywords:** bitumen, oxidative degradation, bifunctional additives – stabilizers of properties, toxicants for microorganisms

**For citation:** Kiselev V.P., Ivanova L.A., Shevchenko V.A., Efremov A.A., Ivanova O.A. Bicomponent modifiers for bitumen systems from renewable natural raw materials. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (9): 33–44. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-33-44.

**Введение.** В современном мире повсеместно происходит резкое ухудшение санитарно-эпидемиологического состояния окружающей среды. Реальной стала опасность распространения массовых заболеваний. Имеют место случаи ненадлежащего обслуживания свалок твердых бытовых отходов, мест захоронения жидких бытовых отходов, мест накопления отработанных медицинских средств. Особую опасность для жизни и здоровья людей представляют плохо оборудованные площадки сбора медицинских отходов различных классов (А, Б, В и Г) в местах их образования (класс А – нетоксичные отходы всех подразделений лечебных учреждений; класс Б – органические отходы – выделения пациентов, патологоанатомические и операционные отходы; класс В – острый инструментальный, имеющий контакт с больными особо опасными инфекциями, другие отходы от таких пациентов). Органические отходы классов Б и В собирают в одноразовые емкости со съёмными крышками, герметично закрывающими их горловины.

Предполагается емкостям с отходами базироваться на площадках со специальным асфальтобетонным покрытием, обеспечивающим безопасность жизни и здоровья граждан. В связи с этим остро встает вопрос создания асфальтобетонных покрытий, устойчивых к воздействию микроорганизмов, а также являющихся токсикантами для патогенных бактерий. Кроме того, и что не менее важно, асфальтобетонные покрытия и герметизирующие швы должны быть устойчивыми в течение длительного времени к окислительной деструкции под действием ультрафиолетового излучения, кислорода воздуха и температурного воздействия.

Известно, что битумные материалы сами воспринимают весь объем агрессивного воздействия, от которого призваны защищать изолируемую конструкцию. И хотя битум химически достаточно стойкий материал, нельзя не согласиться с тем, что его структура и свойства могут изменяться со временем под агрессивным действием окружающей среды. Показано [1], что состав битумов при фотоокислительной деструкции существенно изменяется. Изменение состава происходит даже в стабилизированном антиоксидантами битуме [2].

Общепринятым считается перекисно-радикальный механизм окисления органических веществ молекулярным кислородом [3–5]. Способность битумных композитов противостоять действию различных факторов изучена недостаточно. В работе [6] показана актуальность исследования биодegradации битумных связующих под воздействием почвенных и принесенных извне микроорганизмов. Получение материалов, имеющих в своем составе биоцидные и стабилизирующие добавки, выделяющиеся из материала при увлаж-

нении, позволит существенно увеличить надежность создаваемых природоохранных сооружений, а также резко снизить угрозу биологического заражения населения.

Целью работы является поиск и исследование добавок, повышающих стойкость битумных композитов к атмосферному и микробиологическому старению.

**Методическая часть.** В качестве объекта исследования использовали битум БНД 90/130. Добавками были антиоксиданты ионол (США), Vulkanox ВКФ (Китай) аналог агидола 12 (РФ) [7], индол каменноугольной смолы (далее индольная фракция каменноугольной смолы – ИФ КС), смола пиролиза древесины березы – наиболее распространенного сырья для производства активированных углей (СП ДБ); смола пиролиза оболочки маньчжурского ореха – перспективного сырья для производства особо прочных активированных углей (СП МО). СП МО и ионол – эталонные препараты, изученные авторами ранее как антиоксиданты, – взяты для сравнения.

При исследовании составов исходных битумов и модифицированных вяжущих использовались стандартные методы испытания [8, 9]. Анализ битума и модифицированных образцов битума проводился по ГОСТ 21822–87, эластичность по ГОСТ EN 13398–2013, образцов асфальтобетонных смесей по ГОСТ 12801–98. Перекисное число определяли по методике на основе ГОСТ Р 51487–99<sup>1</sup>, растворяя навеску битума в горячей смеси этилового спирта и хлороформа (1 : 1).

**Результаты исследований.** Кислотное и эфирное числа битума – показатели, достаточно полно отражающие химические изменения, происходящие при окислении в материале. Перекисное число также служит количественным показателем окислительных изменений, происходящих в углеводородах. По величине перекисного числа можно судить о начальной стадии окисления, на которой образуются пероксиды и гидропероксиды. Как видно из данных, приведенных в табл. 1, при выдерживании битума в течение 300 мин при 163 °С (образец 2) происходит достаточно интенсивное его окисление. Кислотное число увеличивается с 1,38 до 1,78 мг КОН/г, эфирное число с 8,9 до 15,6 мг КОН/г.

В исходном битуме (образец 1), по-видимому, отсутствуют химически определяемые перекисные и гидроперекисные соединения. После прогрева (300 мин 163 °С) образца 2 резко возрастает перекисное число. В стадии взаимодействия с кислородом воздуха при высокой температуре модифицированных образцов битума (образцы 3–7) количество перекисных и гидроперекисных групп уменьшается (по сравнению с образцом 2) вследствие того, что они расходуются на реакции взаимодействия с молекулами антиоксидантов ионола и Vulkanox ВКФ, смол СП ДБ и в несколько большей степени с СП МО и ИФ КС. В свою очередь перекиси и гидроперекиси являются неустой-

<sup>1</sup> ГОСТ 21822–87. Битумы нефтяные хрупкие. Технические условия. Определение кислотного числа; ГОСТ EN 13398–2013. Битумы модифицированные и битуминозные вяжущие. Определение эластичности; ГОСТ 12801–98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытания; ГОСТ Р 51487–99. Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа.

Таблица 1. Химические показатели исходного битума, битума, прогретого в условиях испытания на старение<sup>2</sup> (163 °С 300 мин) и продуктов взаимодействия с добавками

Table 1. Chemical parameters of the initial bitumen, bitumen heated under aging test conditions (163 °С 300 min) and products of interaction with additives

Номер образца	Образец	Кислотное число, мг КОН/г	Эфирное число, мг КОН/г	Перекисное число, мг I <sub>2</sub> /100 г/ммоль O <sub>2</sub> /100 г
1	Исходный битум	1,38	8,9	Следы I <sub>2</sub> отсутствуют
2	Исходный битум*	1,78	15,6	0,04–0,05/4–5
3	Битум** + ионол*	1,62	14,8	0,02–0,03/2–3
4	Битум** + Vulkanox ВКФ*	1,66	15,9	0,02–0,03/2–3
5	Битум** + (ИФ КС)*	1,64	16,4	0,01 / 1
6	Битум** + (СП МО)*	1,61	16,6	0,01 / 1
7	Битум** + (СП ДБ)*	1,58	17,3	0,02–0,03/2–3

\* Образец прогрет при 163 °С 300 мин.

\*\* Содержание добавок 3 мас. %.

чивыми соединениями, поэтому при длительном нагревании происходит их распад с образованием свободных радикалов:  $R-O-O-H \rightarrow RO\cdot + OH\cdot$ . При их взаимодействии с молекулами сложных структурных единиц битума образуются ароматические радикалы, а также кислородсодержащие функциональные группы. Об этом свидетельствуют высокие значения кислотных и эфирных чисел. Вероятно присутствие карбонильных и карбоксильных групп органических альдегидов, кетонов и кислот, содержащихся в смолах СП ДБ, СП МО, ИФ КС. Все перечисленные функциональные группы вместе с группами простых и сложных эфиров, как правило, присутствуют в составе продуктов сухой перегонки природного органического сырья, а также в составе технических анионоактивных ПАВ.

Изменения, происходящие в структуре модифицированного битума по сравнению с исходным, будут приводить к существенному возрастанию хемосорбционных процессов и, следовательно, к повышению эксплуатационных свойств асфальтобетона. Для проверки этого предположения сталагмометрическим методом<sup>3</sup> при 130 и 150 °С было измерено поверхностное натяжение битума и битума с добавками (стандартной жидкостью являлся глицерин). Данные содержатся в табл. 2.

Как видно из результатов, приведенных в табл. 2, поверхностное натяжение на границе вяжущее – твердое тело понижается в присутствии бифункциональных добавок. Это можно объяснить увеличением содержания активных функциональных групп (карбоксильных и гидроксильных фенолов) в

<sup>2</sup> ГОСТ 18180–72. Битумы нефтяные; ОДМ 218.2.004–2006. Рекомендации по определению устойчивости к старению и вязкости битумов; ОДМ 218.3.020–2012. Методические указания по обеспечению устойчивости битумов против старения в технологических процессах изготовления и применения асфальтобетонных смесей. М., 2012.

<sup>3</sup> Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1989. 464 с.

Таблица 2. Поверхностное натяжение битума и битума, модифицированного ионолом, Vulkanox ВКФ, СП ДБ, СП МО и ИФ КС

Table 2. Surface tension of bitumen and bitumen modified with ionol, SP DB, SP MO and IF KS

Вязущее	$\tau$ , °С	$\sigma_{\text{эсп}}$ , мН/м	$\sigma_{\text{литер}}$ , мН/м*
Битум исходный	100	27,07	
Битум исходный	120	25,07	
Битум исходный	130	24,78	25,01
Битум исходный	150	24,25	24,29
Битум + ионол (3 мас. %)	150	23.13	–
Битум + Vulkanox ВКФ (3 мас. %)	150	23.24	–
Битум + СП ДБ (3 мас. %)	150	22.27	–
Битум + СП МО (3 мас. %)	150	22,20	–
Битум + ИФ КС (3 мас. %)	150	22,35	–

\* Гунн Р.Б. Нефтяные битумы. М.: Химия, 1973. 432 с.; Гунн Р.Б. Нефтяные битумы. М.: Химия, 1989. 152 с.

битуме. Смолы СП ДБ, СП МО, а также индол каменноугольной смолы более заметно, чем товарные антиоксиданты, модифицируют битум, вводя в него функциональные группы, характерные для ПАВ. Адгезионные свойства битума за счет этого, несомненно, будут улучшаться.

Разработка общей теории биологического функционирования любых систем использует в качестве ориентира границы раздела (контакта) фаз [10]. Внешние границы асфальтобетонных покрытий (с дорожной основой, воздухом) наиболее заметны и изучены. Но не менее важной принципиальной стороной любого асфальтобетонного покрытия является существование внутренних активных границ: битум – песок, битум – щебень, битум – минеральный порошок, битум – битум (когезионные характеристики битума), причем минеральные частицы (сложный комплекс частиц абиотического происхождения) составляют самую наибольшую по площади граничную поверхность в асфальтобетоне, которая незначительно изменяется в процессе приготовления и эксплуатации.

Именно битум – как вязущий компонент и биологические компоненты (бактерии, грибы) пронизаны сетью разнообразных взаимосвязей и формируют особую дисперсную биогеохимическую структуру материала, определяющую, в конечном итоге, основные механизмы адгезии, когезии, старения и функционирование дисперсной системы в целом. Необходимо изучить, какие процессы идут в этих «пленках» – контактах минерального вещества, битума и развивающихся в них «сгущениях жизни», как взаимодействуют и влияют друг на друга граница и биологические организмы.

Кроме свободно-радикального окисления, приводящего к кардинальному изменению потребительских свойств битумов, образованию радикалов способствует многократное механическое воздействие. Закономерно, что чем больше частота механического воздействия, тем выше вероятность образования радикалов. Есть и другие способствующие этому факторы. Асфальтобетон по природе является пористым материалом и под воздействием про-

ходящего транспорта в тело асфальтобетонного покрытия постоянно впресовывается под давлением вода или снег.

В результате процессов фотолиза и радиолитического разложения в воде или в снеге постоянно образуются свободные радикалы. Наиболее активные свободные радикалы разрывают связи в молекулах материала, что приводит к его старению и в конечном итоге к разрушению. Но эти процессы являются только первым этапом к его разрушению. Из-за частичной деструкции материалов в них накапливаются стабильные обрывки органических цепочек, доступные для ферментативного окисления, т.е. для жизнедеятельности бактерий, получающих необходимые дополнительные минеральные биогенные компоненты с водой, всегда присутствующей в этих материалах. В результате мощного биологического воздействия скорость разрушения материала резко возрастает.

Основываясь на изложенном, можно сделать вывод, что добавки для защиты от химического и биологического разрушения асфальтобетона должны обладать свойствами как антиоксидантов, так и мощных ингибиторов, препятствующих развитию микрофлоры в покрытии, т.е. быть бифункциональными.

Для оценки возможного токсического воздействия используемых компонентов на жизнедеятельность микрофлоры в структуре асфальтобетона использован биотест на основе светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum* [11]. Этот вид бактерий жизнеспособен как при высоких температурах, близких к температуре кипения воды, так и при низких [12]. Бактерии сразу начинают свою деятельность по ферментативному разрушению битума – основного элемента, служащего единственной биологической защитой асфальтобетона [13].

Для оценки токсичности готовились водные экстракты компонентов, добавляемых в асфальтобетон, и исследовались водные вытяжки из образцов асфальтобетона.

Суспензия живых светящихся бактерий получена из лиофильно высушенного препарата бактерий, хранившегося в герметичных флаконах объемом 10 мл при температуре ниже 25 °С. Согласно методике, предложенной производителем, флакон с высушенными бактериями выдерживался при комнатной температуре, затем в него добавлялось 2 мл 1,5%-го раствора NaCl. Содержимое флакона тщательно перемешивалось. Суспензия живых бактерий выдерживалась в течение 0,5 ч и в дальнейшем использовалась для проведения экспериментов по оценке токсичности полученных экстрактов. 1 мл аликвоты избранного компонента для проверки на токсичность заливался в специальную кювету прибора, в нее добавлялось 20 мкл приготовленной суспензии бактерий. Интенсивность свечения бактерий измерялась на биOLUMинометре, порядок выполнения описан в работах [14, 15].

Ингибирующее действие исследуемого раствора на свечение бактерий оценивалось по формуле

$$K_{\text{инг}} = I/I_c \cdot 100 \%,$$

где  $K_{\text{инг}}$  – коэффициент ингибирования свечения бактерий;

$I$  – интенсивность свечения бактерий в кювете с исследуемым раствором;

$I_c$  – интенсивность свечения бактерий в кювете с раствором сравнения (3%-й раствор NaCl в дистиллированной воде).

В результате экспериментов по оценке влияния на функционирование бактерий добавок – антиоксидантов было установлено, что все добавки, содержащиеся в водных экстрактах (как правило, в небольших количествах – 20–30 мг/л), полностью (на 100 %) подавляют развитие бактерий. Необходимо было выяснить эффективность добавляемых в битум добавок-модификаторов на ингибирование развития светящихся бактерий после введения их в асфальтобетонную смесь.

Были сформованы стандартные образцы асфальтобетона с содержанием битума 6,5 % (сверх 100) и 5%-й концентрацией в битуме добавок. Образцы асфальтобетона помещали в отдельные контейнеры, заливали водой таким образом, чтобы над каждым образцом был 1 см воды. Образцы выдерживали в приготовленном растворе 3 сут.

Водные вытяжки из образцов асфальтобетона использовали для оценки влияния на жизнедеятельность светящихся бактерий. Такие компоненты, как ионол, и Vulkanox BKF в концентрациях, полученных в вытяжках, значительно слабее (чем в экстрактах из исходных добавок) воздействуют на функционирование светящихся бактерий ( $K_{инг}$  соответственно 42 и 48 %). СП ДБ и СП МО, ИФ КС (в концентрациях, полученных в водных вытяжках из образцов асфальтобетона) являются достаточно мощными ингибиторами свечения бактерий и, следовательно, токсикантами, подавляющими развитие бактерий.  $K_{инг}$  для экстрактов СП ДБ и СП МО составляет соответственно 60 и 68 %. Индол является еще более мощным ингибитором функционирования светящихся бактерий ( $K_{инг}$  79 %).

Для того чтобы выявить зависимость изменения концентрации добавок на функционирование бактерий, были проведены эксперименты с различными разведениями исходного экстракта. Исходные экстракты ионола и Vulkanox BKF перестают оказывать ингибирующее воздействие на бактерии только при разведении пробы более чем в 20 раз.  $K_{инг}$  экстракта СП МО через сутки 90 %, экстракт эффективно ингибирует свечение бактерий даже при разведении исходной концентрации в 20 раз. При разведении исходного экстракта ИФ КС в 50 раз в первый момент наблюдалась стимуляция свечения, но проверка измерений, проведенная после 1 и 10 ч выдержки кюветы с исследуемым раствором, показала, что и в этих случаях происходит полное ингибирование этой функции бактерий.

Как видно из данных табл. 3, водные вытяжки (3 сут) из образцов (2–6) асфальтобетона оказывают значительное угнетающее действие на развитие бактерий. Это свидетельствует о том, что все изученные добавки являются мощными токсикантами.

Вводимые в состав асфальтобетона антиоксиданты должны по своим физическим характеристикам отвечать требованиям технического регламента на его изготовление. В ходе экспериментов установлено, что все они способны равномерно распределяться в битуме, сохраняя его химические свойства как в пределах рабочих температур дорожного покрытия, так и при повышенной температуре в ходе его приготовления. При модификации вяжущего – битума различными добавками конечной целью является проверка качества вяжущего – битума, а также асфальтобетонных смесей, приготовленных на модифицированном материале.

Таблица 3. Ингибирующее влияние на свечение бактерий водных вытяжек из образцов асфальтобетона с различными добавками в битум

Table 3. Inhibiting effect on the glow of bacteria of aqueous extracts from asphalt concrete samples with various additives in bitumen

Номер образца	Характеристика вяжущего в образце асфальтобетона*	$K_{инг}$ , %
1	Исходный битум	0
2	Битум + ионол	42
3	Битум + Vulkanox ВКФ	48
4	Битум + СП ДБ	60
5	Битум + СП МО	68
6	Битум + ИФ КС	79

\* Содержание битума 6,5 % сверх 100.

Результаты испытаний образцов битума и асфальтобетона (табл. 4, 5) показывают влияние добавок как антиоксидантов на свойства битума, устойчивость к старению и качество асфальтобетонных смесей, приготовленных

Таблица 4. Физико-механические свойства битума БНД 60/90 с добавками стабилизаторов свойств

Table 4. Physico-mechanical properties of bitumen BND 60/90 with additives of stabilizers properties

Показатель	ГОСТ 22245-90/ Фактическое	Стабилизатор и содержание в битуме, мас. %									
		Ионол		Vulkanox ВКФ		ИФ КС		СП МО		СП ДБ	
		1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0
Пенетрация, 0,1 мм при 25 °С 0 °С	91-130/106 ≥ 28/29	108 30	112 36	110 32	119 37	112 29	120 32	116 34	136 38	118 29	133 39
Температура размягчения по КиШ, °С	≥ 43/46,5	43,0	41,0	45,5	44,5	44,5	42,0	44,0	42,5	43,0	42,0
Изменение* температуры размягчения по КиШ, °С, не более	6,0/5,5	5,0	4,5	3,5	3,0	4,0	3,5	3,5	3,0	4,0	3,5
Температура хрупкости по Фраусу, °С	≤ -17/18	-22	-24	-21	-24	-23	-25	-22	-26	-22	-25
Растяжимость, см при 25 °С 0 °С	≥ 60/65 ≥ 4,2/6,5	75 9,0	90 15,0	85 10,0	≈100 15,0	85 10,0	90 15,0	90 9,0	> 100 16,0	90 9,0	95 14,0
Эластичность при 25 °С, %	≥ 7	7	8	10	9	12	8	11	12	15	14
Сцепление с мрамором или песком	Выдерживает по контрольному образцу 2										

\* Образец прогрет при 163 °С в течение 300 мин.



Таблица 5. Физико-механические свойства асфальтобетонных смесей на основе стабилизированного антиоксидантами битума БНД 90 /130  
 Table 5. Physico-mechanical properties of asphalt concrete mixtures based on antioxidant-stabilized bitumen BND 90 /130

Показатель	ГОСТ 9128-97*/ Фактическое	Добавка и содержание в битуме БНД 90/130, мас. %									
		Ионол		ИФ КС		Vulkanox ВКФ		СП МО		СП ДБ	
		1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0
$R_{50^{\circ}\text{C}}$ , МПа	$\geq 1,2/1,4$	1,5	1,6	1,8	2,0	1,6	1,9	1,7	2,1	1,6	1,9
$R_{20^{\circ}\text{C}}$ , МПа	$\geq 2,5/2,8$	2,9	3,2	3,5	3,9	3,1	3,2	3,6	3,9	3,5	3,8
$R_{0^{\circ}\text{C}}$ , МПа	$\leq 12,0/6,8$	5,8	5,4	6,2	5,9	6,0	5,9	5,9	5,4	6,4	6,2
$K_{\text{в}}$	$\geq 0,85/0,87$	0,92	0,95	0,89	0,93	0,90	0,96	1,05	1,15	0,91	0,96
$K_{\text{вд}}$	$\geq 0,75/0,75$	0,78	0,79	0,77	0,80	0,81	0,83	0,80	0,84	0,79	0,80
Водонасыщение, %	1,5–4,0/3,0	2,9	3,0	3,0	3,1	2,9	3,2	2,8	3,2	3,0	3,1

\* Требования ГОСТ 9128–97 для асфальтобетонных смесей типа В, II марки, для II–III дорожно-климатической зоны;  $K_{\text{в}}$  – коэффициент водостойкости при кратковременном (1 сут) водонасыщении,  $K_{\text{вд}}$  – коэффициент водостойкости при длительном (14 сут) водонасыщении.

на битуме с бифункциональными добавками. Проверка показала, что все добавки являются эффективными антиоксидантами. Взятые для сравнения эталонные препараты СП МО и ионол – как антиоксиданты были изучены авторами ранее [16–18].

Результаты испытаний композиционных вяжущих, приведенные в табл. 4, указывают на улучшение их деформационных свойств. Улучшается растяжимость при 25 и 0 °С; эластичность композиций битума в присутствии всех изученных добавок (особенно смол пиролиза древесного сырья и индол-содержащей фракции каменноугольной смолы). Для исследования влияния использованных добавок в битум на свойства асфальтобетонов проводились стандартные испытания по ГОСТ 9128–97. Вяжущего в асфальтобетоне было 6,5 %, содержание антиоксидантов и органических добавок в вяжущем 1,0 и 3,0 %. Результаты свидетельствуют о положительном влиянии добавок на свойства асфальтобетона.

По данным исследования можно сделать вывод, что антиоксиданты и смолы СП ДБ, СП МО, ИФ КС улучшают прочность асфальтобетона при 20 °С и его пластическую устойчивость при 50 °С, а также повышают водоустойчивость асфальтобетонных смесей. Как показывают значения коэффициентов водостойкости как при кратковременном (1 сут), так и при длительном (14 сут) водонасыщении, все модифицированные образцы формируются с хорошей плотной структурой, обладают малой пористостью и могут использоваться в верхних слоях дорожного покрытия, а также для устройства защитных покрытий мест временного хранения токсичных медицинских отходов.

**Выводы.** 1. Вводимые в состав асфальтобетона бифункциональные добавки оказывают положительное влияние на его физические и технические характеристики.

2. Смолы СП ДБ, СП МО, а также индол каменноугольной смолы более заметно, чем товарные антиоксиданты модифицируют битум, вводя в него функциональные группы, характерные для ПАВ, улучшая адгезию битума к каменному материалу.

3. Ионол, Vulkanox ВКФ, СП ДБ, СП МО и ИФ КС в исходных экстрактах полностью подавляют жизнедеятельность светящихся бактерий, сохраняя эффективность даже при 20-кратном разведении.

4. Водные вытяжки (3 сут) из образцов асфальтобетона с использованными в работе бифункциональными добавками оказывают значительное угнетающее действие на развитие бактерий. Это свидетельствует о том, что все изученные добавки являются мощными токсикантами.

5. Применение указанных добавок позволит улучшить экологическую обстановку в районе хранения бытовых отходов.

#### Список источников

1. Салманова Ч.К., Ахмедбакова С.Ф., Мамедов А.П., Кязимов С.М., Абдулова Ш.Н. Превращения смолисто-асфальтовых веществ при фотооблучении // Химия и технология топлив и масел. 2007. № 5. С. 39–42.
2. Зайдуллин И.М., Петрова Л.М., Якубов М.Р., Борисова Д.Н. Изменение состава асфальтобетона при старении битумов в присутствии антиоксидантов // Журнал прикладной химии. 2013. Т. 86, вып. 7. С. 1137–1142.
3. Поконова Ю.В. Химия высокомолекулярных соединений нефти. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 172 с.
4. Поконова Ю.В. Нефть и нефтепродукты. СПб.: Мир и семья, 2003. 904 с.
5. Вишнякова Т.П., Голубева И.А., Крылов И.Ф., Лыков О.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив. М.: Химия, 1990. 192 с.
6. Богатов А.Д., Федорцов А.П., Пронькин С.П., Ерофеев В.Т. Исследование механизмов повреждения битумных композитов в условиях воздействия биологических агрессивных сред // Фундаментальные исследования. Технические науки. 2015. № 2. С. 2787–2800.
7. Любименко В.А., Гришина И.Н., Гизатуллин Р.А., Колесников И.М. Связь индукционного периода окисления бензиновой фракции с концентрацией антиоксиданта // Химия и технология топлив и масел. 2008. № 1. С. 34–35.
8. Горельшев Н.В. Материалы и изделия для строительства дорог: Справ. / под ред. Н.В. Горельшева. М.: Транспорт, 1986. 288 с.
9. Ткаченко В.М. Автомобильные дороги. Контроль качества производства работ. Киев: Будивельник, 1987. 175 с.
10. Bogatyrev L.G. Main concepts, laws and principles of modern soil science: Monograph. М.: MAKS Press, 2015. 196 p.
11. Duranceau S.J., Biscardi P.G., Barnhill D.K. Screening the toxicity of phosphorous-removal adsorbents using a bioluminescence inhibition test // Environ Toxicology. 2016. Vol. 31, no. 4. P. 489–495.
12. Mounyr Balouiri, Moulay Sadiki, Saad Koraichi Ibsouda. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review // Journal of Pharmaceutical Analysis. 2016. Vol. 6, no. 2. P. 71–79.
13. Киселёв В.П., Филимонов В.С., Бугаенко М.Б., Ефремов А.А. Исследование устойчивости дорожных вяжущих и органоминеральных смесей к биодеструкции в присутствии добавок растительного и минерального происхождения // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 119–128.

14. Кузнецов А.М., Родичева Э.К., Шилова Е.И. Биотест на основе лиофилизированных светящихся бактерий // Биотехнология. 1996. № 9. С. 57–61.
15. Филимонов В.С., Киселёв В.П. Использование бактериального биотеста для оценки биологического сопротивления асфальтобетона // Изв. вузов. Строительство. 2005. № 1. С. 26–33.
16. Киселёв В.П., Ефремов А.А., Кеменев Н.В., Бугаенко М.Б. Стабилизация свойств нефтебитумных композиций // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2012. № 3. С. 207–218.
17. Киселёв В.П., Шевченко В.А., Василовская Г.В., Иванова Л.А., Ворончихин В.Д. Модификация свойств нефтяного дорожного битума // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 5. С. 56–63.
18. Киселёв В.П., Шевченко В.А., Бугаенко М.Б., Иванова Л.А., Ворончихин В.Д. Использование смолы пиролиза, антиоксидантов и дивинилстирольного каучука для модификации свойств битума и асфальтобетонных смесей // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 5. С. 35–40.

### References

1. Salmanova Ch.K., Akhmedbakova S.F., Mamedov A.P., Kyazimov S.M., Abdulova Sh.N. Transformations of resinous-asphaltene substances during photo-irradiation. *Khimiya i tehnologiya topliv i masel = Chemistry and technology of fuels and oils*. 2007; (5): 39–42. (In Russ.).
2. Zaydullin I.M., Petrova L.M., Yakubov M.R., Borisova D.N. Changes in the composition of asphaltenes during bitumen aging in the presence of antioxidants. *Zhurnal prikladnoy khimii = J. of Applied Chemistry*. 2013; 86 (7): 1137–1142. (In Russ.).
3. Pokonova Yu.V. Chemistry of high-molecular compounds of petroleum. Leningrad, 1980. 172 p. (In Russ.).
4. Pokonova Yu.V. Oil and petroleum products. St. Petersburg, 2003. 904 p. (In Russ.).
5. Vishnyakova T.P., Golubeva I.A., Krylov I.F., Lykov O.P. Stabilizers and modifiers of petroleum distillate fuels. Moscow, 1990. 192 p. (In Russ.).
6. Bogatov A.D., Fedortsov A.P., Pronkin S.P., Erofeev V.T. Investigation of the mechanisms of damage to bitumen composites under the influence of biological aggressive media. *Fundamental'nyye issledovaniya. Tekhnicheskiye nauki = Fundamental research. Technical sciences*. 2015; (2): 2787–2800. (In Russ.).
7. Lyubimenko V.A., Grishina I.N., Gisatullin R.A., Kolesnikov I.M. The relationship of the induction period of oxidation of the gasoline fraction with the concentration of the antioxidant. *Khimiya i tehnologiya topliv i masel = Chemistry and technology of fuels and oils*. 2008; (1): 34–35. (In Russ.).
8. Gorelyshev N.V. Materials and products for road construction: directory. Moscow, 1986. 288 p. (In Russ.).
9. Tkachenko V.M. Highways. Quality control of work production. Kiev: Budivelnik, 1987. 175 p. (In Russ.).
10. Bogatyrev L.G. Main concepts, laws and principles of modern soil science: Monograph. Moscow: MAKS Press, 2015. 196 p.
11. Duranceau S.J., Biscardi P.G., Barnhill D.K. Screening the toxicity of phosphorous-removal adsorbents using a bioluminescence inhibition test. *Environ Toxicology*. 2016; 31 (4): 489–495.
12. Mounyr Balouiri, Moulay Sadiki, Saad Koraichi Ibsouda. Methods for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 2016; 6 (2): 71–79.

13. Kiselev V.P., Filimonov V.S., Bugaenko M.B., Efremov A.A. Investigation of the resistance of road binders and organomineral mixtures to biodegradation in the presence of additives of vegetable and mineral origin. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*. 2008; (2): 119–128. (In Russ.).
14. Kusnetsov A.M., Rodicheva E.K., Shilova E.I. Biotest based on lyophilized luminous bacteria. *Biotechnologiya = Biotechnology*. 1996; (9): 57–61. (In Russ.).
15. Filimonov V.S., Kiselev V.P. The use of bacterial biotest to assess the biological resistance of asphalt concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2005; (1): 26–33. (In Russ.).
16. Kiselev V.P., Efremov A.A., Kemenev N.V., Bugaenko M.B. Stabilization of properties of petroleum bitumen compositions. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2012; (3): 207–218. (In Russ.).
17. Kiselev V.P., Shevchenko V.A., Vasilovskaya G.V., Ivanova L.A., Voronchikhin V.D. Modification of the properties of petroleum road bitumen. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2015; (5): 56–63. (In Russ.).
18. Kiselev V.P., Shevchenko V.A., Bugaenko M.B., Ivanova L.A., Voronchikhin V.D. The use of pyrolysis resin, antioxidants and divinyl styrene rubber to modify the properties of bitumen and asphalt concrete mixtures. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2013; (5): 35–40. (In Russ.).

#### **Информация об авторах**

**В.П. Киселёв** – доктор технических наук, доцент, Wkiselev001@yandex.ru

**Л.А. Иванова** – кандидат технических наук, доцент, Lusya54@yandex.ru

**В.А. Шевченко** – кандидат технических наук, профессор

**А.А. Ефремов** – доктор химических наук, профессор

**О.А. Иванова** – старший преподаватель

#### **Information about the authors**

**V.P. Kiselev** – DSc. Ass. Professor, Wkiselev001@yandex.ru

**L.A. Ivanova** – PhD, Ass. Professor, Lusya54@yandex.ru

**V.A. Shevchenko** – PhD, Professor

**A.A. Efremov** – DSc, Professor

**O.A. Ivanova** – Senior Lecturer

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.07.2021

Одобрена после рецензирования 31.08.2021

Принята к публикации 10.09.2021

The article was submitted 30.07.2021

Approved after reviewing 31.08.2021

Accepted for publication 10.09.2021