

## ВОДО- И МОРОЗОСТОЙКОСТЬ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА, ПРИГОТОВЛЕННОГО НА БИТУМЕ, МОДИФИЦИРОВАННОМ СЭВИЛЕНОМ

В.В. Ядыкина, С.Н. Наволокина\*, А.М. Гридчин

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова  
г. Белгород, Россия

[vvya@intbel.ru](mailto:vvya@intbel.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8289-2361>,  
[navsvetlala685@rambler.ru](mailto:navsvetlala685@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5040-3655>,  
[prezident@intbel.ru](mailto:prezident@intbel.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0264-7751>

\*ответственный автор

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В настоящее время повышение долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий является одной из актуальных задач, решение которой обеспечивает значительный экономический эффект, достигаемый за счет увеличения межремонтных сроков, а также общего срока службы автомобильных дорог. Асфальтобетонные покрытия при длительном увлажнении вследствие ослабления структурных связей могут разрушаться за счёт выкрашивания минеральных зёрен, что приводит к повышенному износу покрытий и образованию выбоин. Вода проникает в микродофекты структуры асфальтобетона, приводя к снижению прочности материала. В результате снижается коррозионная стойкость асфальтобетона. Для повышения качества вяжущего и долговечности асфальтобетонного покрытия, в частности из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), используют различные модифицирующие добавки, в том числе полимерные.

В связи с этим перспективным направлением представляется использование полимеров, содержащих активные группы, которые способны обеспечить повышение адгезии к минеральным материалам, в том числе из кислых пород, а следовательно, и водостойкость. Одним из таких является сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА).

**Материалы и методы.** С целью изучения влияния сэвилена на водо- и морозостойкость асфальтобетонных смесей были приготовлены щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси на основе модифицированных сэвиленом битумов. В качестве исходного битума при приготовлении модифицированных вяжущих был использован БНД 70/100 Московского НПЗ. Были проведены испытания щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей на показатель содержания воздушных пустот по ГОСТ Р 58406.8.2019, коэффициент водостойкости по ГОСТ Р 58401.18–2019 и морозостойкость по ГОСТ 12801–98.

**Результаты.** Установлено, что содержание воздушных пустот образцов асфальтобетона значительно снижается при увеличении концентрации сэвилена, что в дальнейшем будет способствовать более высокой морозостойкости дорожного покрытия. Показано, что применение сэвилена с 22% винилацетата позволяет повысить коэффициент водостойкости асфальтобетонных смесей благодаря наличию полярных молекул в составе этиленвинилацетата, активно взаимодействующих с минеральными составляющими асфальтобетонной смеси. Применение сэвилена улучшает морозостойкость асфальтобетонных образцов. Так, наименьшее снижение прочности в испытаниях на морозостойкость показали образцы с 5% сэвилена.

Установлено, что наибольшей стойкостью к влажностному и температурному воздействию окружающей среды обладают полимерасфальтобетоны на основе вяжущего с сэвиленом, содержащим 22% винилацетата, что соответствует максимальной основности полимера.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** щебеночно-мастичный асфальтобетон, сэвилен, модифицированный битум, водостойкость, морозостойкость, винилацетат, вяжущее, адгезия, винилацетат, воздушные пустоты

Статья поступила в редакцию 29.12.2021; одобрена после рецензирования 24.01.2022; принята к публикации 28.02.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Конфликт интересов отсутствует.

© Ядыкина В.В., Наволокина С.Н., Гридчин А.М., 2022



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Ядыкина В.В. Водо- и морозостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном севиленом / В.В. Ядыкина, С.Н. Наволокина, А.М. Гридчин // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 1(83). С. 102-113. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-19-1-102-113>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-102-113>  
Original article

## WATER- AND FROST-RESISTANCE OF CRUSHED STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE PREPARED ON SEVILEN-MODIFIED BITUMEN

Valentina V. Yadykina, Svetlana N. Navolokina\*, Anatoly M. Gridchin

Shukhov Belgorod State Technological University,  
Belgorod, Russia

[vvya@intbel.ru](mailto:vvya@intbel.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8289-2361>,

[navsvetlala685@rambler.ru](mailto:navsvetlala685@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5040-3655>,

[prezident@intbel.ru](mailto:prezident@intbel.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0264-7751>

\*corresponding author

### ABSTRACT

**Introduction.** Currently, increasing the durability of road asphalt concrete pavements is one of the urgent issues, the solution of which provides a significant economic effect achieved by increasing the turnaround time, as well as the overall service life of highways. Asphalt concrete pavements with prolonged wetting due to weakening of structural bonds can be destroyed due to crumbling of mineral grains, which leads to increased wear of the pavement and the formation of potholes. Water penetrates into micro defects in the structure of asphalt concrete, leading to a decrease in the strength of the material. As a result, the corrosion resistance of asphalt concrete is reduced. To improve the quality of the binder and the durability of the asphalt concrete pavement, in particular from crushed stone-mastic asphalt concrete (SMA), various modifying additives, including polymer ones, are used. In this regard, a promising direction is the use of polymers containing active groups, which are able to provide an increase in adhesion to mineral materials, including those from acid rocks, and, consequently, water resistance. One of these is the ethylene vinyl acetate copolymer (EVAC).

**Materials and methods.** In order to study the effect of sevilen on the water and frost resistance of asphalt concrete mixtures, crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures were prepared based on bitumen modified with БНД 70/100 sevilen made in the Moscow Oil Refinery Plant was used as the initial bitumen in the preparation of modified binders. Tests of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures were carried out for the indicator of the content of air voids in accordance with GOST R 58406.8.2019, the coefficient of water resistance in accordance with GOST R 58401.18-2019 and frost resistance in accordance with GOST 12801-98.

**Results.** It has been established that the content of air voids in asphalt concrete samples significantly decreases with an increase in the concentration of sevilene, which will further contribute to a higher frost resistance of the road surface. It is shown that the use of sevilen with 22% vinyl acetate makes it possible to increase the coefficient of water resistance of asphalt concrete mixtures due to the presence of polar molecules in the composition of ethylene vinyl acetate, actively interacting with the mineral components of the asphalt concrete mixture. The use of sevilen improves the frost resistance of asphalt concrete samples. So, the smallest decrease in strength in tests for frost resistance was shown by samples with 5% sevilene. It was found that polymer asphalt concrete based on binder with sevilene containing 22% vinyl acetate, which corresponds to the maximum basicity of the polymer, has the highest resistance to humidity and temperature effects of the environment.

**KEYWORDS:** crushed stone-mastic asphalt concrete, sevilen, modified bitumen, water resistance, frost resistance, vinyl acetate, binder, adhesion, vinyl acetate, air voids

The article was submitted 29.12.2021; approved after reviewing 24.01.2022; accepted for publication 28.02.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Yadykina V.V., Navolokina S.N., Gridchin A.M. Water- and frost-resistance of crushed stone mastic asphalt concrete prepared on sevilen-modified bitumen. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2022; 19 (1): 102-113. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-1-102-113>

© Yadykina V.V., Navolokina S.N., Gridchin A.M., 2022



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**ВВЕДЕНИЕ**

Устойчивость структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов является важным свойством, определяющим долговечность материала. ЩМА, как и большинство других пористых строительных материалов, разрушается главным образом при длительном увлажнении, а также в результате попеременного замораживания – оттаивания [1, 2].

Во многих регионах особенно актуально увеличение водо- и морозостойкости, так как в осенне-зимний и весенний периоды наблюдаются многократные колебания положительных и отрицательных температур при интенсивном выпадении осадков.

Асфальтобетонные покрытия при длительном увлажнении вследствие ослабления структурных связей могут разрушаться за счет выкрашивания минеральных зерен, что приводит к повышенному износу покрытий и образованию выбоин<sup>1,2</sup>. Особенно разрушительно вода действует при попеременном замораживании и оттаивании. Вода, проникая в поры материала, способствует отслаиванию битумных пленок, что приводит к ослаблению структурных связей в асфальтобетоне. Расклинивающий эффект от действия воды при замерзании усиливает этот процесс. При понижении температуры битумные пленки становятся хрупкими, а вода увеличивается в объеме при замерзании, вызывая большие напряжения в стенках пор, способные привести к возникновению микротрещин. Эти микротрещины при оттаивании заполняются водой и в дальнейшем могут развиваться, чему способствует проникающая в них вода. Таким образом, одновременное воздействие воды и пониженных температур оказывает неблагоприятное воздействие на асфальтобетон.

Показатели прочности и водостойкости асфальтобетона в значительной степени зависят от свойств применяемых вяжущих и минеральных материалов. Наиболее характерные разрушения асфальтобетонных покрытий, связанные с их недостаточной водостойкостью, обусловлены отсутствием прочного сцепления битума с поверхностью минерального материала, особенно при использовании заполнителей из кислых горных пород.

Для повышения качества вяжущего и долговечности асфальтобетонного покрытия, в частности из ЩМА, используют различные модифицирующие добавки, в том числе полимерные. Наибольшее распространение получили термоэластопласты на основе стирол-бутадиен стирола (СБС). Они позволяют снизить колееобразование, повысить сдвигоустойчивость и трещиностойкость, сопротивление усталостному разрушению покрытий автомобильных дорог.

В то же время одним из ведущих факторов долговечности покрытий является их водостойкость, формирующаяся за счет устойчивого к действию воды контакта между вяжущим и твердой подложкой – поверхностью каменных материалов [3, 4, 5, 6]. Как справедливо отмечено В. А. Золотаревым, сведений об устойчивости асфальтобетонов на битумах, модифицированных полимерами (асфальтополимербетонов), против разрушающего действия воды недостаточно, а имеющиеся сведения достаточно противоречивы [7]. С тех пор в области исследования влияния полимеров в составе вяжущего на водостойкость асфальтобетона существенных изменений не произошло.

В работе [8] проведено сравнение влияния полимеров разных видов на сцепление битумов разных марок, технологий получения и происхождения с поверхностью стекла на свойства модифицированного вяжущего и водостойкость полимерасфальтобетона. С учетом сведений, приведенных в работах [3, 7], сделан вывод об отсутствии взаимодействия СБС с поверхностью каменных материалов и о малом вкладе полимеров при традиционно применяемых концентрациях в формирование водоустойчивости асфальтополимербетонов. Наблюдающийся эффект повышения устойчивости обусловлен замедлением диффузии воды сквозь пленку битумополимерных вяжущих. Для повышения водоустойчивости рекомендуется введение поверхностно-активных веществ или использование специальных адгезионно-активированных полимеров. Однако высказано сомнение по поводу эффективности использования ПАВ в связи с тем, что в битумах, модифицированных полимерами, образуется совместная с асфальтенами структура, которая может затруднять диффузию

<sup>1</sup> Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Высш. шк. 1977.

<sup>2</sup> Печеный Б. Г. Долговечность битумных и битумо-минеральных покрытий. М.: Стройиздат. 1981. 123 с.

молекул ПАВ к границе раздела фаз при их взаимодействии с каменными материалами.

В связи с этим перспективным направлением представляется использование полимеров, содержащих активные группы, которые способны обеспечить повышение адгезии к минеральным материалам, в том числе из кислых пород, а следовательно, и водостойкость. Одним из таких является сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА). Поверхность СЭВА имеет преимущественно основной характер, поскольку в состав полимера входит карбонильная группа, обладающая основными свойствами вследствие большей электроотрицательности атома кислорода по сравнению с углеродом<sup>3</sup>. Это должно положительно отразиться на взаимодействии органического вяжущего, модифицированного сэвиленом, с заполнителями из кислых пород в отличие от традиционного ПБВ на СБС.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились с использованием традиционных методик и оборудования. С целью изучения влияния сэвилена на свойства асфальтобетонных смесей были приготовлены щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси на основе модифицированных сэвиленом битумов. В качестве исходного битума при приготовлении модифицированных вяжущих был использован БНД 70/100 Московского НПЗ.

Применялась добавка, содержащая 22 и 29% винилацетата (ВА). Ее концентрация в битуме составляла 3, 5, 7 и 10%. Для сравнения в качестве вяжущего было использовано ПБВ 60 производства ООО «Техпрогресс», содержащее 3% СБС.

Испытания щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей на показатель содержания воздушных пустот проводились по ГОСТ Р 58401.8–2019, коэффициент водостойкости – по ГОСТ 58401.18–2019 и морозостойкости – по ГОСТ 12801–98. Водостойкость опреде-

ляли как отношение предела прочности при непрямом растяжении серии образцов после воздействия воды и цикла «замораживание – оттаивание», и предела прочности при непрямом растяжении серии образцов, выдержанных на воздухе при температуре  $(22\pm 3)$  °С. Предел прочности определяли на прессе ДТС-06-50/100. Морозостойкость образцов ЩМА-16 оценивали по изменениям физико-механических показателей образцов после 5...75 циклов попеременного замораживания – оттаивания.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Известно<sup>4,5</sup> [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18] положительное влияние сэвилена на характеристики битума и асфальтобетона.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния сэвилена на водо- и морозостойкость ЩМА-16. На рисунке 1 представлено изменение водостойкости образцов ЩМА-16 в результате применения битума, модифицированного сэвиленом.

Из результатов видно, что применение вяжущего, модифицированного сэвиленом, положительно отражается на водостойкости асфальтобетона. Причем коэффициент водостойкости повышается не только по сравнению с применением немодифицированного битума, но и традиционного ПБВ на СБС. Коэффициент водостойкости образцов ЩМА растет пропорционально содержанию сэвилена в составе вяжущего. Кроме того, показатель водостойкости образцов с 22% винилацетата заметно выше, чем с 29% винилацетата.

Известно, что определяющее влияние на водостойкость асфальтобетона оказывает сцепление вяжущего с поверхностью каменных материалов. Лучшие результаты по показателю водостойкости и водонасыщения образцов ЩМА на битуме, модифицированном сэвиленом с 22% винилацетата по сравнению с 29% ВА можно объяснить более высоким сцеплением модифицированного вяжущего с минеральной частью асфальтобетонной смеси.

<sup>3</sup> Старостина И. А., Стоянов О. В. Кислотно-основные взаимодействия и адгезия в металл-полимерных системах: монография. КГТУ. Казань. 2010. 195 с.

<sup>4</sup> Опанасенко О. Н. Регулирование межфазных взаимодействий в нефтяных дисперсиях поверхностно-активными веществами и полимерами: автореф. дис. д-ра хим. наук. Минск. 2017. 48 с.

<sup>5</sup> Галдина В. Д. Модифицированные битумы: учебное пособие. Омск: СибАДИ, 2009. 228 с.

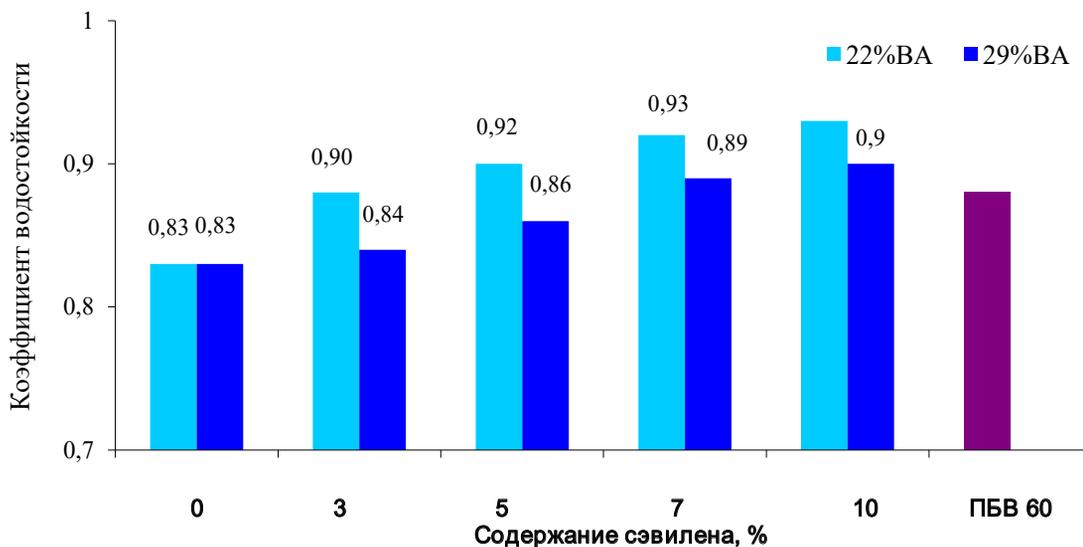


Рисунок 1 – Коэффициент водостойкости ЦМА на битуме, модифицированном сэвиленом с 22 ВА и 29 ВА

Figure 1 – SMA water resistance coefficient on bitumen modified with sevelen with 22VA and 29VA

Исследованиями<sup>6,7</sup> установлено, что значительную роль в образовании адгезионных связей на различных поверхностях раздела оказывают межмолекулярные кислотно-основные взаимодействия. В работе [19] показано, что максимальную основность имеет поверхность исследуемого полимера, содержащего 20–22% винилацетатных групп, что и обеспечило наилучшие показатели сцепления, а следовательно и водостойкости асфальтобетона, приготовленного на битуме, модифицированном сэвиленом, содержащим 22% винилацетата.

Кроме того, установлено, что вязкость битума, содержащего сэвилен с 22% ВА, выше, чем с 29% ВА [12]. Это способствует лучшему сохранению битумной пленки на поверхности минеральных материалов и повышению водостойкости ЦМА на модифицированном битуме.

Улучшение сцепления может быть связано также с изменением строения макромолекул СЭВА [19].

Высказанные предположения подтверждены результатами исследований по сцеплению исследуемых вяжущих с гранитным щебнем.

Как и следовало ожидать, сцепление исходного вяжущего и ПБВ 60 на СБС значительно ниже, чем битума, модифицированного сэвиленом (рисунок 2), что связано с наличием активных групп на поверхности сэвилена. Показатели водостойкости коррелируют со сцеплением. Так, коэффициент водостойкости образцов ЦМА на ПБВ 60 составляет 0,88, что сопоставимо с аналогичным показателем при использовании 3% СЭВА и ниже, чем при введении 5–10% добавки.

При исследовании содержания воздушных пустот образцов ЦМА на модифицированном вяжущем наблюдается закономерная тенденция (рисунок 3).

Как и следовало ожидать, содержание воздушных пустот образцов при использовании сэвилена, содержащего 22% винилацетата, ниже по сравнению с 29%. При концентрации

<sup>6</sup> Старостина И. А., Стоянов О. В. Кислотно-основные взаимодействия и адгезия в металл-полимерных системах: монография. КГТУ. Казань. 2010. 195 с.

<sup>7</sup> Старостина И. А. Кислотно-основные взаимодействия полимеров и металлов в адгезионных соединениях: автореф. дис. д-р хим. наук. Казань. 2011. 38 с.

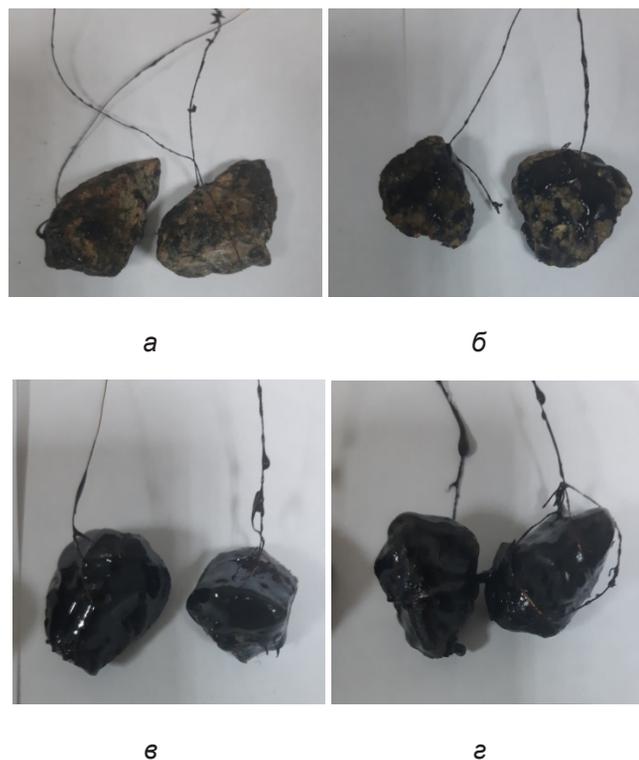


Рисунок 2 – Сцепление вяжущего с минеральным материалом:  
 а – битум исходный; б – с ПБВ 60; в – с 5% СЭВА (22% ВА); г – с 5% СЭВА (29% ВА)

Picture 2 – Adhesion of the binder to mineral material:  
 1 – initial bitumen; 2 – with MSDS of 60; 3 – with 5% EVAC (22% VA); 4 – with 5% EVAC (29% VA)

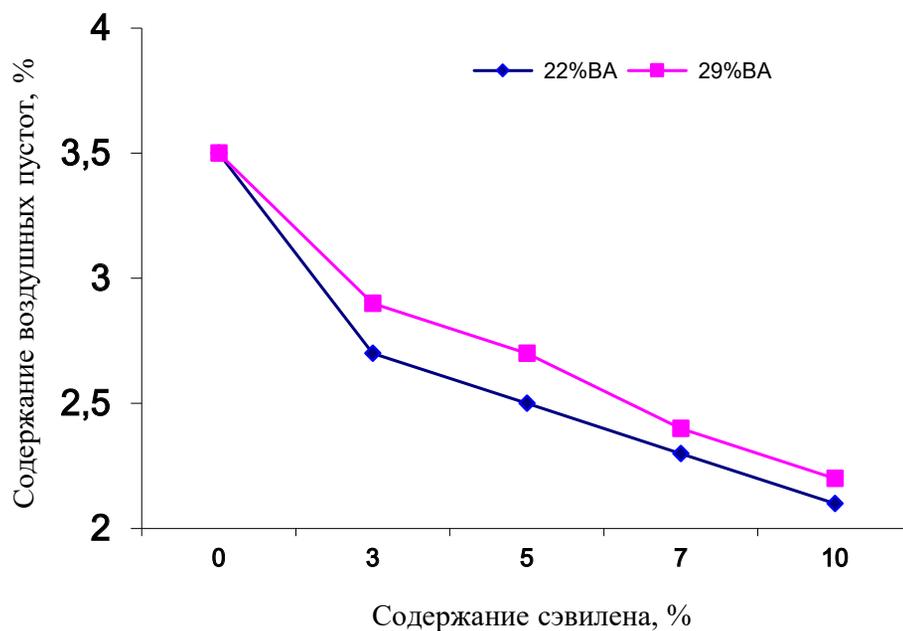


Рисунок 3 – Содержание воздушных пустот в ЩМА на битуме, модифицированном сэвиленом с 22 ВА и 29 ВА

Figure 3 – Content of air voids in SMA on bitumen modified with Sevilen with 22VA and 29VA

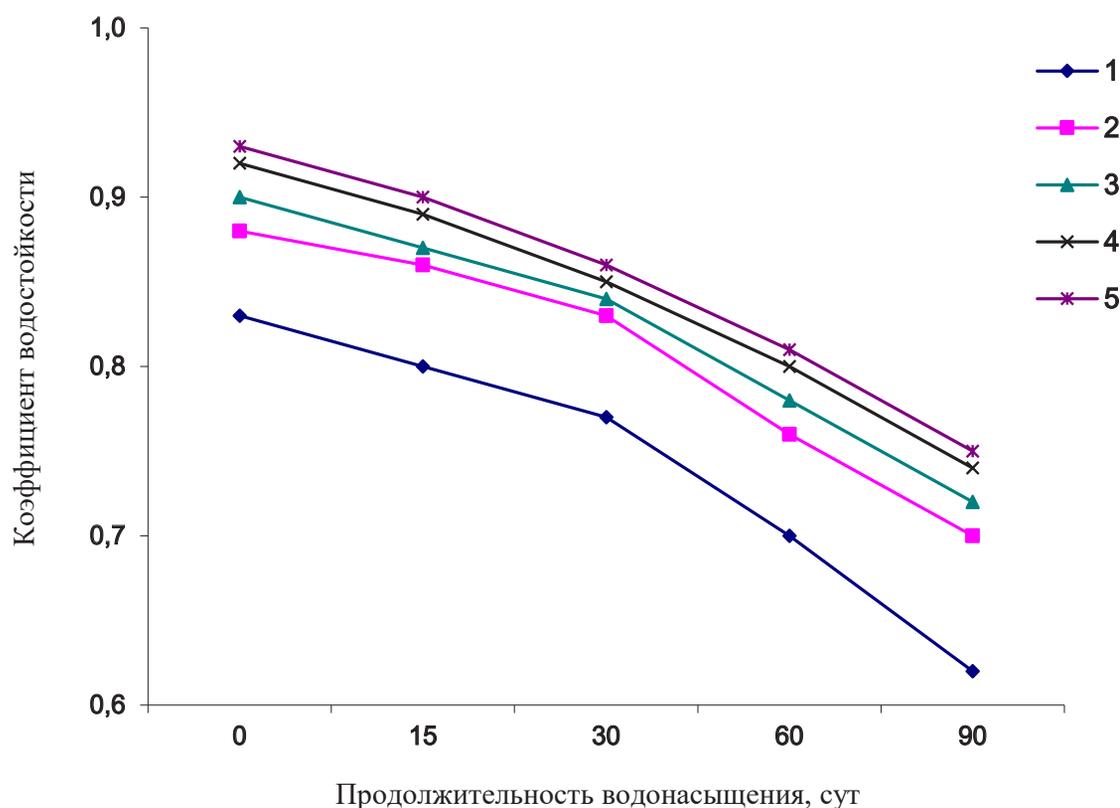


Рисунок 4 – Изменение водостойкости ЩМА-16 с сэвиленом при длительном водонасыщении: 1 – 0% СЭВА; 2 – 3% СЭВА; 3 – 5% СЭВА; 4 – 7% СЭВА; 5 – 10% СЭВА

Figure 4 – Change in water resistance of SMA-16 with sevelen at long-term water saturation: 1 – 0% EVAC; 2 – 3% EVAC; 3 – 5% EVAC; 4 – 7% EVAC; 5 – 10% EVAC

ях 3, 5, 7 и 10% уменьшение показателя составляет 22,8, 28,6, 34,2 и 40%. Содержание воздушных пустот образцов асфальтобетона значительно снижается при увеличении концентрации сэвилена, следовательно, этот композит содержит большее количество закрытых пор, что в дальнейшем будет способствовать более высокой морозостойкости дорожного покрытия.

Известно, что критерием водостойкости полимерасфальтобетона, как и асфальтобетона, является коэффициент длительной водостойкости [8]. Поэтому были определены значения коэффициента водостойкости через 15, 30, 60 и 60 сут водонасыщения.

Из рисунка 4 видно, что коэффициент водостойкости ЩМА особенно активно снижается после 30 сут испытаний, причем снижение

показателя без добавки более интенсивное. Через 90 сут водонасыщения коэффициент водостойкости образцов с 3, 5, 7 и 10% сэвилена падает на 20,5, 20, 19,6 и 19,3 % соответственно, тогда как на немодифицированном вяжущем – на 25,3%.

Таким образом, использование вяжущего, модифицированного сэвиленом, значительно повышает его сцепление с минеральными материалами, что положительно отражается на показателях содержания воздушных пустот и водостойкости асфальтобетона.

В большой степени долговечность покрытия зависит от морозостойкости. В результате попеременного замораживания – оттаивания структура асфальтобетона может разрушаться, поэтому устойчивость структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона в условиях

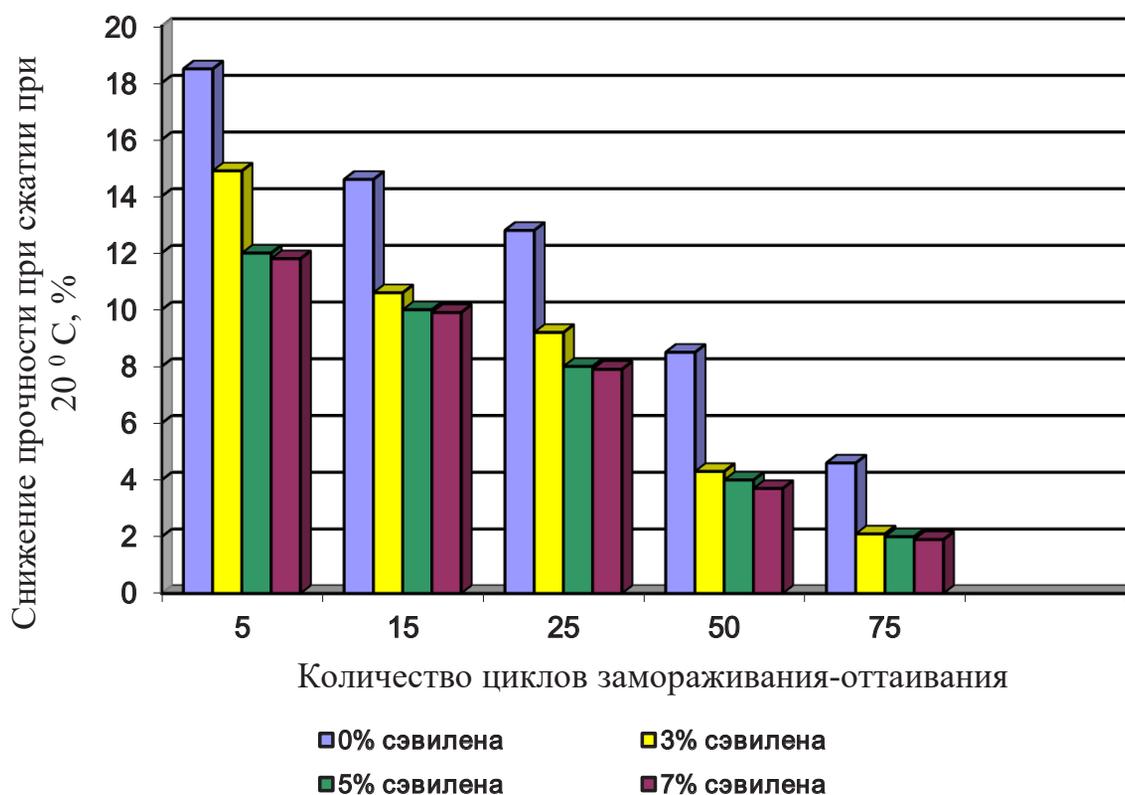


Рисунок 5 – Снижение прочности образцов с сэвиленом, содержащим 22 ВА, при 20 °С при замораживании – оттаивании

Figure 5 – Decreased strength of specimens with 22VA sevilen at 20°C during freeze-thaw

влажностного и температурного воздействия является важным фактором повышения его долговечности.

В порах асфальтобетона происходит взаимодействие воды с материалом. Вода, характеризующаяся более высокой диэлектрической постоянной по сравнению с малополярными соединениями битума, более интенсивно взаимодействует с гидрофильными центрами поверхности минеральных материалов. При длительном воздействии воды происходит адсорбционное вытеснение связей «компоненты битума – гидрофильные центры поверхности минеральных материалов». В водонасыщенном асфальтобетонном покрытии вследствие колебания температуры и попеременного водонасыщения – высушивания возникают напряжения, вызванные изменением объема

воды в порах, а также из-за различных коэффициентов термического расширения воды, битума и минеральных материалов. При достижении напряжениями критических значений ослабевают структурные связи в асфальтобетоне и происходит разрушение его под действием транспортных средств.

Испытания морозостойкости проводили на образцах ЩМА, содержащих 3, 5 и 7% сэвилена. Для сравнения использовали составы асфальтобетона с сэвиленом, содержащим 22 и 29% винилацетата. В качестве критерия морозостойкости использовали показатели снижения прочности при 20 и 50 °С образцов ЩМА на модифицированном битуме по сравнению с исходным.

Из рисунка 5 следует, что морозостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона при

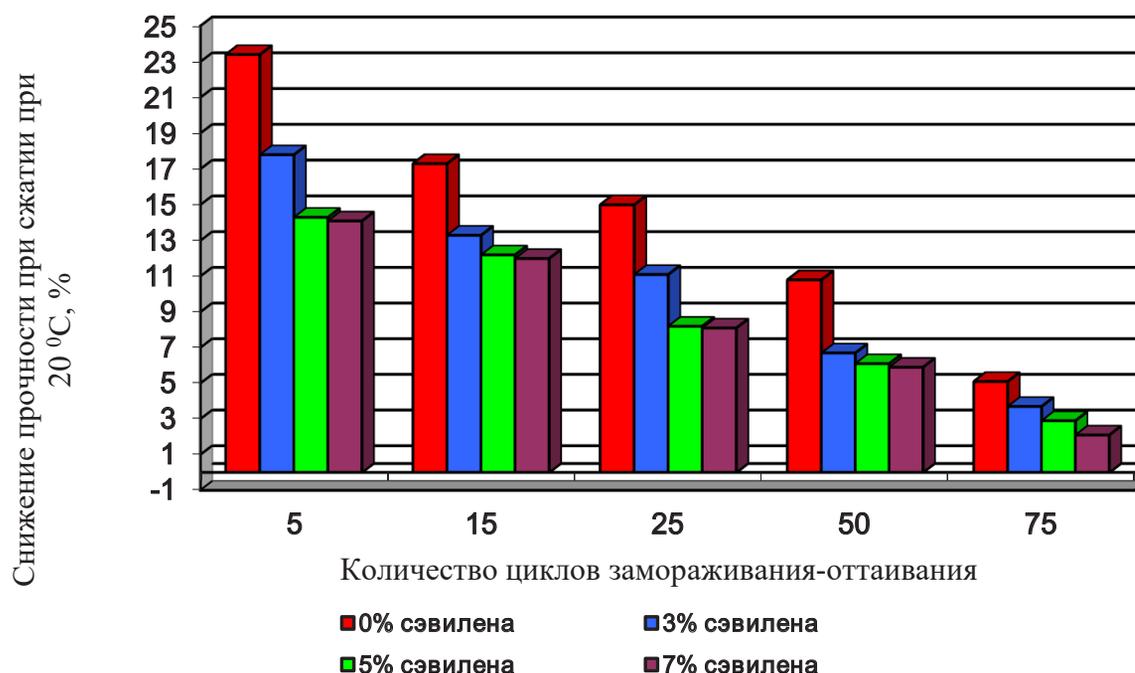


Рисунок 6 – Снижение прочности образцов с сэвиленом, содержащим 29 ВА, при 20 °С при замораживании – оттаивании

Figure 6 – Decreased strength of specimens with 29VA sevelen at 20°C during freeze-thaw

введении в вяжущее сэвилена значительно повышается. Так снижение прочности при сжатии при 20 °С через 5 циклов замораживания – оттаивания составила для ЩМА с 3, 5 и 7% добавки – 14,9, 12,0 и 11,8%, а через 50 циклов – 4,3, 4,0 и 3,7% соответственно (рисунок 5). Тогда как прочность образцов на битуме без добавки через 5 циклов испытаний снизилась на 18,5, а через 50 циклов – на 8,5%.

Для образцов с 29% винилацетата наблюдается аналогичная закономерность снижения прочности образцов при сжатии при 20 °С (рисунок 6). Морозостойкость щебеночно-мастичного асфальтобетона после 5 сут замораживания – оттаивания с 3% сэвилена снизилась на 17,8%, с 5 и 7% добавки на 14,3 и 14,1% соответственно. Через 75 циклов данный показатель уменьшился на 3,7, 2,9 и 2,1 % для 3, 5 и 7% сэвилена соответственно (см. рисунок 6).

Установлено, что испытание образцов при 50 °С оказало аналогичное влияние на морозостойкость, однако падение прочности при этой температуре испытания несколько выше,

чем при 20 °С. На немодифицированном битуме снижение прочности составило через 5 циклов – 23,4%, а через 75 циклов – 5,1%.

Снижение прочности образцов асфальтобетона с сэвиленом, содержащим 22 ВА, при 50 °С после 5 циклов замораживания – оттаивания составила 29,4, 24,8 и 23,4% при введении 3, 5 и 7% сэвилена. При добавлении сэвилена с 29% винилацетата данные значения возрастают до 37,5, 31,5 и 30,9% для 3, 5 и 7% добавки. Полученные результаты свидетельствуют о более высокой устойчивости щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием сэвилена с 22% винилацетата, что вполне закономерно.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что применение сэвилена для модифицирования битума позволяет повысить водо- и морозостойкость асфальтобетона благодаря наличию полярных молекул в составе этиленвинилацетата, активно взаимодействующих с минеральными составляющими асфальтобетонной смеси.

Это будет способствовать хорошей сопротивляемости щебеночно-мастичного асфальтобетона агрессивным воздействиям воды и пониженной температуры в покрытии автомобильных дорог.

Наибольшей стойкостью к влажностному и температурному воздействию окружающей среды обладают полимерасфальтобетоны на основе вяжущего с сэвиленом, содержащим 22% винилацетата, что соответствует максимальной основности полимера.

Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет – 2030» на базе БГТУ им. В. Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования ЦВТ на базе БГТУ им. В. Г. Шухова.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синюгина Ю. В., Лакей В. Н., Медведев А. И., Артемов А. А. Моделирование климатических факторов и усталостного разрушения асфальтобетона // Матрица научного познания. 2021. №2–1. С. 70–73.
2. Ашуров Э. Т. Повышение коррозионной устойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог // Экономика и социум. 2021. № 10(89). С.513–517.
3. Золотарев В. А., Кудрявцева С. В., Агеева Е. Н. Водостойчивость битумополимерных вяжущих и асфальтополимербетонов на их основе // Вестник ХНАДУ. №34–35. 2006.
4. A. Onishchenko, L. Stolyarova, A. Bieliatynskiy. Evaluation of the durability of asphalt concrete on polymer modified bitumen//E3S Web of Conferences 157, 06005 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202016403027.
5. Hend Ali Omar, Nur Izzi Md. Yusoff, Muhammad Mubarak, Halil Ceylan. Effects of moisture damage on asphalt mixtures//Journal of traffic and transportation engineering (english edition) 2020 ; 7(5) : Pp. 600 -628. DOI: 10.1016/j.jtte.2020.07.001.
6. A.A. Mamun, Md. Arifuzzaman. Nano-scale moisture damage evaluation of carbon nanotube-modified asphalt//Construction and Building Materials 193 (2018). Pp. 268–275. DOI: 10.1016/j.conbuildmat..2018.10.155Scopus.
7. Золотарев В. А., Кудрявцева С. В., Ефремов С. В. Влияние совместного введения полимеров и адгезионных добавок на свойства битумов // Вестник ХНАДУ. № 40. 2008.
8. Золотарев В. А. Битумы, модифицированные полимерами, и асфальтополимербетоны // Дорожная техника. 2009. С. 16–23.
9. Наволокина С. Н., Ядыкина В. В., Гридчин А. М. Щебеночно-мастичный асфальтобетон с использованием битума, модифицированного сэвиленом // Вестник им. В. Г. Шухова. 2021 Т. 6, № 8. С. 8–16.
10. Ядыкина В. В., Наволокина С. Н., Гридчин А. М. Повышение устойчивости щебеночно-мастичного асфальтобетона к колееобразованию за счет использования полимерных модификаторов // Строительные материалы и изделия.2020. № 6, Т. 3. С. 27–34.
11. Bhupendra Singh, Praveen Kumar. Effect of polymer modification on the ageing properties of asphalt binders: chemical and morphological investigation// Construction and Building Materials. 2019. № 205. Pp. 633-641. DOI: 10.1016/j.conbuildmat..2019.02.050.
12. Yadykina V. V., Navolokina S. N., Gridchin A. M. The dependence of the modified bitumen properties on the amount of vinyl acetate in the sevilen composition // Materials Science Forum. ISSN: 1662-9752. 2019.Vol. pp 175-180. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.175.
13. Ya Liu, Jing Zhang, Ru Chen, Jun Cai, Zhonghua Xi, hongfeng Xie. Ethylene vinyl acetate copolymer modified epoxy asphalt binders: phase separation evolution and mechanical properties// Construction and Building Materials. 2017. № 137. Pp. 55-65. DOI: 10/1088/1757-899X/578/1/012080 .
14. Бусел А. В. Добавки этилен-винил-ацетата для модифицирования дорожных битумов // Наука и техника в дорожной отрасли. 1999. № 2. С.12–14.
15. Yuliestyan A., Cuadri A.A., Garcia-Morales M., Partal P. Influence of polymer melting point and Melt Flow Index on the performance of ethylene-vinyl-acetate modified bitumen for reduced-temperature application // Materials and Design. 2016. № 96. Pp.180-188. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.003.
16. Ming Liang, Shisong Ren, Weiyu Fan, Xue Xin, Jingtao Shi, Hui Luo. Rheological property and stability of polymer modified asphalt: effect of various vinyl-acetate structures in EVA copolymers // Construction and Building Materials. 2017. № 137. Pp. 367-380. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.01.123.
17. Gordon D. Airey. Rheological evaluation of ethylene vinyl acetate polymer modified bitumens// Construction and Building Materials. 2002. № 16. Pp. 473-487. DOI: 10.1016/S0950-0618 (02) 00103-4.
18. Kezhen Yan, Jinghao Chen, Lingyun You, Shan Tian. Characteristics of compound asphalt modified by waste tire rubber (WTR) and ethylene vinyl acetate (EVA): Conventional, rheological, and microstructural properties//Journal of Cleaner Production 258 (2020) 120732. Pp. 1-14. DOI: 10.1016/j.jclepro. 2020.120732.
19. Хузаханов Р. М., Старостина И. А., Стоянов О. В., Русанова С. Н. Характер взаимодействия на границе раздела «сополимер этилена с винилацетатом-металл» // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 11. С. 191–194.

## REFERENCES

1. Sinyugina YU. V., Lakej V. N., Medvedev A. I., Artemov A. A. Modelirovanie klimaticheskikh faktorov i ustalostnogo razrusheniya asfal'tobetona // *Matrica nauchnogo poznaniya*. 2021. 2-1: 70-73.
2. Ashurov E. T. Povyshenie korrozionnoj ustojchivosti asfal'tobetonnykh pokrytij avtomobil'nykh dorog // *Ekonomika i sotsium*. 2021. 10(89): 513-517.
3. Zolotarev V. A., Kudryavceva S. V., Ageeva E. N. Vodoustojchivost' bitumopolimernykh vyazhushchih i asfal'topolimerbetonov na ih osnove [Water resistance of bitumen-polymer binders and asphalt-polymer concretes based on them] // *Vestnik HNADU*. 2006, 34-34.
4. A. Onishchenko, L. Stolyarova, A. Bieliatynskiy. Evaluation of the durability of asphalt concrete on polymer modified bitumen//E3S Web of Conferences 157, 06005 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202016403027.
5. Hend Ali Omar, Nur Izzi Md. Yusoff, Muhammad Mubarak, Halil Ceylan. Effects of moisture damage on asphalt mixtures//*Journal of traffic and transportation engineering (english edition)* 2020 ; 7(5) : 600 -628. DOI: 10.1016/j.jtte.2020.07.001.
6. A.A. Mamun, Md. Arifuzzaman. Nano-scale moisture damage evaluation of carbon nanotube-modified asphalt//*Construction and Building Materials* 193 (2018): 268–275. DOI: 10.1016/j.conbuildmat..2018.10.155.
7. Zolotarev V. A., Kudryavceva S. V., Efremov S. V. Vliyanie sovместnogo vvedeniya polimerov i adgezionnykh dobavok na svojstva bitumov [The effect of the combined introduction of polymers and adhesive additives on the properties of bitumen] // *Vestnik HNADU*. 2008. №40.
8. Zolotarev V. A. Bitumy, modifitsirovannye polimerami, i asfal'topolimerbetony [Bitumen modified by polymers and asphalt polymer concretes] // *Dorozhnaya tekhnika*. 2009.: 16-23.
9. Navolokina S. N., Yadykina V. V., Gridchin A. M. Shchebenochno-mastichnyj asfal'tobeton s ispol'zovaniem bituma, modifitsirovannogo sevilenom // *Vestnik im. V. G. Shuhova*. 6(8): 8-16.
10. Yadykina V. V., Navolokina S. N., Gridchin A. M. Povyshenie ustojchivosti shchebenochno-mastichnogo asfal'tobetona k koleeobrazovaniyu za schet ispol'zovaniya polimernykh modifikatorov // *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2020, 6(3): 27-34.
11. Bhupendra Singh, Praveen Kumar. Effect of polymer modification on the ageing properties of asphalt binders: chemical and morphological investigation// *Construction and Building Materials*. 2019. 205: 633-641. DOI: 10.1016/j.conbuildmat..2019.02.050.
12. Yadykina V. V., Navolokina S. N., Gridchin A. M. The dependence of the modified bitumen properties on the amount of vinyl acetate in the sevileno composition // *Materials Science Forum*. 2019.Vol. pp 175-180. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.175.
13. Ya Liu, Jing Zhang, Ru Chen, Jun Cai, Zhonghua Xi, hongfeng Xie. Ethylene vinyl acetate copolymer modified epoxy asphalt binders: phase separation evolution and mechanical properties// *Construction and Building Materials*. 2017. 137: 55-65. DOI: 10.1088/1757-899X/578/1/012080 .
14. Busel A. V. Dobavki etilen-vinil-acetata dlya modifitsirovaniya dorozhnykh bitumov // *Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrasli [Ethylene-vinyl-acetate additives for modifying road bitumen]*. 1999. 2:12-14.
15. Yuliestyan A., Cuadri A.A., Garcia-Morales M., Partal P. Influence of polymer melting point and Melt Flow Index on the performance of ethylene-vinyl-acetate modified bitumen for reduced-temperature application // *Materials and Design*. 2016. 96:180-188. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.003.
16. Ming Liang, Shisong Ren, Weiyu Fan, Xue Xin, Jingtao Shi, Hui Luo. Rheological property and stability of polymer modified asphalt: effect of various vinyl-acetate structures in EVA copolymers // *Construction and Building Materials*. 2017. 137: 367-380. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.01.123.
17. Gordon D. Airey. Rheological evaluation of ethylene vinyl acetate polymer modified bitumens// *Construction and Building Materials*. 2002. 16: 473-487. DOI: 10.1016/S0950-0618 (02) 00103-4.
18. Kezhen Yan, Jinghao Chen, Lingyun You, Shan Tian. Characteristics of compound asphalt modified by waste tire rubber (WTR) and ethylene vinyl acetate (EVA): Conventional, rheological, and microstructural properties//*Journal of Cleaner Production* 258 (2020) 120732. Pp. 1-14. DOI: 10.1016/j.jclepro. 2020.120732.
19. Huzahanov R. M., Starostina I. A., Stoyanov O. V., Rusanova S. N. Harakter vzaimodejstviya na granice razdela «sopolimer etilena s vinilacetatom-metal» [The nature of the interaction at the interface "ethylene vinyl acetate copolymer-metal"] // *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013. 16(11): 191-194.

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Ядыкина В.В. Постановка задач исследования. Обобщение результатов работы, формулирование выводов. Редактирование статьи.

Наволокина С.Н. Выбор методологии и методов исследования. Выполнение экспериментальных исследований, обработка результатов. Оформление статьи.

Гриджин А.М. Формулирование проблемы исследования. Руководство процессом разработки темы.

## AUTHORS CONTRIBUTION

Valentina V. Yadykina. Statement of research problems. Generalization of the results of the work, formulation of conclusions. Editing an article.

Svetlana N. Navolokina. Choice of methodology and research methods. Implementation of experimental studies, processing of results. Article formatting.

Anatoly M. Gridchin. Formulation of the research problem. Leading the theme development process.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Ядыкина Валентина Васильевна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры автомобильных дорог и аэродромов.*

*Наволокина Светлана Николаевна – аспирант.*

*Гридчин Анатолий Митрофанович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры автомобильных дорог и аэродромов.*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

*Valentina V. Yadykina – Dr. Sci., Professor, Professor of the Department Highways and Airfields Department, Shukhov Belgorod State Technological*

*Svetlana N. Navolokina - Postgraduate student.*

*Anatoly M. Gridchin - Dr. Sci., Professor, Professor of the Department Highways and Airfields Department.*