

Строительные материалы и изделия

Научная статья

УДК 691.58

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-3/81-89>

А.А. Леденев, Ю.Е. Грядунова, В.К. Макогон, Д.Н. Внуков, С.С. Никулин

ЛЕДЕНЕВ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – к.т.н., старший научный сотрудник,
ledenoff@mail.ru✉

ГРЯДУНОВА ЮЛИЯ ЕВГЕНЬЕВНА – к.т.н., старший научный сотрудник

МАКОГОН ВАЛЕРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ – младший научный сотрудник

ВНУКОВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ – к.т.н., доцент, заместитель начальника кафедры
*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»*

НИКУЛИН СЕРГЕЙ САВВОВИЧ – д.т.н., профессор, профессор кафедры технологии
органических соединений, переработки полимеров и техносферной безопасности
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия

Модифицированные герметизирующие материалы с улучшенными физико-механическими свойствами для деформационных швов аэродромных покрытий и автомобильных дорог

Аннотация. Применение герметизирующих материалов (герметиков) с улучшенными физико-механическими свойствами для деформационных швов асфальтобетонных и цементобетонных аэродромных покрытий и автомобильных дорог (покрытий) является одним из направлений повышения их надежности и долговечности. Эффективным способом управления структурообразованием и направленного регулирования свойств герметиков в части улучшения физико-механических показателей является использование комплекса модифицирующих добавок на основе высокодисперсных компонентов различного механизма действия. Цель статьи – модифицирование структуры и улучшение физико-механических свойств герметиков для деформационных швов покрытий посредством применения комплекса добавок на основе высокодисперсных компонентов. В ходе исследований обоснован выбор эффективных добавок на основе высокодисперсных компонентов – фуллеренсодержащего углерода, графита и шунгита, а также микроармирующего компонента – волластонита. Экспериментально установлено, что применение предложенного комплекса добавок оказывает положительное влияние на модифицирование структуры битумно-полимерного герметика и позволяет улучшить его физико-механические свойства – предел прочности при растяжении, относительное удлинение в момент разрыва. Исходя из структурно-феноменологических представлений показана роль высокодисперсных добавок в механизме формирования структуры и увеличении прочностных показателей герметиков. Рекомендовано применение модифицированных добавками герметиков с улучшенными физико-механическими свойствами для повышения надежности и долговечности конструкции деформационных швов аэродромных и дорожных покрытий.

Ключевые слова: герметизирующие материалы, высокодисперсные добавки, модифицирование структуры, аэродромные и дорожные покрытия, физико-механические свойства

Для цитирования: Леденев А.А., Грядунова Ю.Е., Макогон В.К., Внуков Д.Н., Никулин С.С. Модифицированные герметизирующие материалы с улучшенными физико-механическими свойствами для деформационных швов аэродромных покрытий и автомобильных дорог // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 3(52). С. 81–89.

Введение

Как известно, регулярность и безопасность полетов на аэродромах государственной авиации обеспечивается системой инженерно-аэродромных мероприятий, важной составляющей которых является поддержание сооружений аэродрома в постоянной эксплуатационной готовности. Анализ опыта содержания и текущего ремонта конструкций летного поля показывает, что одной из причин возникновения дефектов искусственных покрытий является разгерметизация деформационных швов в результате частичного или полного разрушения герметиков. Разгерметизация швов и проникновение воды может способствовать снижению несущей способности грунтов и возникновению недопустимых деформаций конструкции покрытия [11].

Характерными повреждениями герметиков деформационных швов, подвергающихся жестким условиям эксплуатации, являются выдавливание, потеря сцепления с краями конструкции, нарушения целостности и др. Зачастую повреждения проявляются вследствие недостаточной температуростойчивости герметиков при отрицательных температурах, попеременном замораживании и оттаивании в осенне-зимне-весенний периоды, а также при возникновении значительных сдвигающих и растягивающих напряжений при механическом воздействии на покрытие. В целях улучшения их физико-механических свойств, таких как предел прочности при растяжении, относительное удлинение в момент разрыва, которые регламентируются нормативно-технической документацией ГОСТ 30740-2000, ГОСТ 25945-98, следует вводить специальные добавки.

Анализ современных герметизирующих материалов показал, что в настоящее время широко используются композиционные битумно-полимерные герметики, изготовленные с применением нефтяных битумов, полимеров, пластификаторов и наполнителей. В ходе обобщения результатов научно-практических разработок установлено, что одним из способов улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств композиционных материалов на основе битумов и полимеров является введение в их состав дополнительных модифицирующих добавок и компонентов [4, 5, 7–9, 12].

В ранее выполненных исследованиях показано, что для увеличения прочностных показателей герметизирующих материалов швов аэродромных покрытий эффективны разноплановые дисперсные добавки [3]. Однако их введение не позволяет в полной мере повысить показатели герметизирующих составов. Поэтому задачи улучшения физико-механических свойств герметиков требуют дальнейших глубоких и детальных исследований, позволяющих если не полностью исключить, то значительно снизить имеющиеся недостатки, расширить сырьевую базу, применяя комплекс модифицирующих добавок на основе высокодисперсных, микроструктурирующих, а также микроармирующих компонентов. Комплексное применение добавок различной природы и механизма действия следует рассматривать как необходимые условия направленного регулирования структурных характеристик и улучшения физико-механических показателей герметиков. Кроме того, при выборе комплекса модифицирующих добавок важным условием является обеспечение их совместимости в композиции, что позволит получить синергетический эффект усиления совместного действия компонентов с позиции активного влияния на процессы структурообразования и улучшение свойств герметика.

Следует отметить, что при использовании дисперсных добавок, обладающих высокой удельной площадью поверхности, в результате физико-химического межмолекулярного, межчастичного и межфазного взаимодействия в микрообъеме формируется агрегированная структура, которая является элементом, влияющим на свойства всей модифицированной композиционной системы в целом. При этом на формирование микроструктуры значительное влияние оказывают свойства поверхности добавок, степень их дисперсности. Проведение дальнейших исследований, направленных на развитие представлений о структурообразовании формирующихся систем, модифицированных высокодисперсными добавками и компонентами, позволит научно обоснованно подойти к разработке герметизирующих композиций с улучшенными показателями свойств.

Цель статьи – модифицирование структуры и улучшение физико-механических свойств герметиков для деформационных швов покрытий в результате применения комплекса добавок на основе высокодисперсных компонентов.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) обосновать выбор комплекса эффективных добавок на основе высокодисперсных компонентов, позволяющих направленно модифицировать структуру и улучшать физико-механические свойства герметиков;
- 2) экспериментально исследовать влияние комплекса добавок на основе высокодисперсных компонентов на прочность при растяжении модифицированных герметиков;
- 3) экспериментально исследовать влияние комплекса добавок на основе высокодисперсных компонентов на относительное удлинение в момент разрыва модифицированных герметиков.

Методология исследований, обоснование выбора сырьевых материалов

Базовым объектом исследований являлся битумно-полимерный герметик марки БП-Г35 производства ООО «НОВА-Брит» (г. Москва) в соответствии с ТУ 5775-001-77310225-2006, СТО 77310225.003-2010. Выбор герметика обусловлен рекомендуемой областью его применения – для деформационных швов асфальтобетонных и цементобетонных аэродромных покрытий и автомобильных дорог, эксплуатируемых в широком температурном диапазоне вплоть до -35°C .

Для модифицирования структуры и улучшения физико-механических свойств герметика применяли комплекс добавок, на основе компонентов различной природы и физико-химических свойств поверхности частиц твердой фазы, выбор которых обусловлен их химическим и дисперсным составом.

Применяли три вида высокодисперсных добавок:

- 1) фуллеренсодержащий углерод (ФСУ) – с дисперсностью частиц твердой фазы менее 100 мкм, включающий в состав углеродные фуллерены молекулярной фракции $\text{C}_{50}\text{--}\text{C}_{92}$;
- 2) графит – марки RP-Carbon-100 с дисперсностью частиц менее 100 мкм;
- 3) шунгит – природный минерал, измельченный до дисперсности частиц в диапазоне от 1 до 100 мкм, включающий до 30% шунгитового углерода фуллереноподобной структуры.

Характерной особенностью данных добавок, обладающих повышенной поверхностной активностью вследствие высокой дисперсности, является наличие в их составе углеродных фуллеренсодержащих молекул и соединений. Специфичность и уникальность данных соединений состоит в особой структуре частиц углерода, проявляющих повышенную активность в окислительно-восстановительных процессах, высокую когезию и адгезию, а также совместимость с материалами различного происхождения [4, 5, 7, 8, 12]. Это позволяет спрогнозировать эффективность выбранных добавок для интеграции в микроструктуру битумно-полимерной матрицы для улучшения физико-механических показателей герметика путем их введения при относительно небольших дозировках.

Дополнительным микроармирующим компонентом модифицированных герметиков, вводимом в комплексе с высокодисперсной добавкой, являлся волластонит – природный силикат кальция с молекулярной формулой CaSiO_3 . Особенность свойств его поверхности – игольчатая форма длиной до 500 мкм и анизотропия частиц с высокими показателями удлинения и модуля упругости [2, 6, 10, 13, 14].

Из теоретических положений следует, что совместное применение вышеописанных компонентов, выполняющих определенную функцию, будет оказывать комплексное положительное влияние на модифицирование структуры и позволит достичь требуемого технического результата по улучшению физико-механических показателей герметиков.

Для подготовки к испытанию приготовление герметиков осуществляли в лабораторных условиях. Модифицирующие добавки – ФСУ, графит, шунгит в количестве 1% по массе и волластонит – 5% по массе, поочередно вводили в расплавленную при температуре $150\text{--}155^{\circ}\text{C}$ битумно-полимерную композицию. Для достижения равномерного распределения добавок в

объеме композицию перемешивали в течение 30 мин при термостатировании. В результате были получены три состава модифицированных герметиков, которые различались по виду высокодисперсных добавок (табл. 1). Для сравнительной оценки эффективности готовили контрольный состав герметика БП-Г35 без добавок.

Таблица 1

Исследуемые составы герметиков, модифицированных комплексом добавок на основе высокодисперсных компонентов

№ состава	Состав герметика и дозировка добавок, по массе	Условное обозначение герметика
1	БП-Г35 + ФСУ 1%+ волластонит 5%	БП-Г35 (ФВ)
2	БП-Г35 + графит 1%+ волластонит 5%	БП-Г35 (ГВ)
3	БП-Г35 + шунгит 1% + волластонит 5%	БП-Г35 (ШВ)
4	БП-Г35 (контрольный состав без добавок)	

Для подготовки экспериментальных образцов – моделей деформационного шва аэродромного покрытия - приготовленные герметики заливали в шов между стандартными балочками размером 40×40×160 мм, изготовленными из мелкозернистого бетона класса В_{тб} 6,4. Перед испытанием образцы предварительно выдерживали в воздушных условиях при температуре +23±5 °С в течение 24 часов, после чего помещали в морозильную камеру для охлаждения при температуре –20±1 °С.

Экспериментальное определение физико-механических свойств герметика – предела прочности при растяжении и относительного удлинения в момент разрыва при температуре –20 °С проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 30740-2000, ГОСТ 25945-98 на универсальной напольной электромеханической испытательной системе INSTRON 5982, обеспечивающей автоматическую обработку данных с погрешностью измерения перемещения ±0,5% от измеряемой величины и скорость перемещения захвата 1,0+0,5 мм/мин.

Предел прочности герметика при растяжении R , МПа вычисляли по формуле

$$R = \frac{P}{S} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где P – максимальная нагрузка при растяжении герметика, Н; S – площадь сечения образца герметика, м².

За величину предела прочности герметика при растяжении принимали среднеарифметическое значение результатов испытаний на трех образцах каждого состава. Результат округляли до 0,01 МПа.

Относительное удлинение герметика в момент разрыва ε , % вычисляли по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l}{l} \cdot 100, \quad (2)$$

где l – первоначальная толщина герметика в образце деформационного шва, равная 13±0,1 мм; l_1 – толщина герметика в образце деформационного шва в момент его разрыва или отслоения от бетонной балочки, мм.

За величину относительного удлинения герметика в момент разрыва принимали среднеарифметическое значение результатов испытаний на трех образцах каждого состава. Результат округляли до 1%.

Результаты исследований, их обсуждение

Схема проведения испытаний модифицированных герметиков с использованием специально изготовленного устройства для захвата образцов деформационного шва представлена на рис. 1. Использование данного устройства позволило обеспечить плавность и равномерность растяжения герметика при испытаниях в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

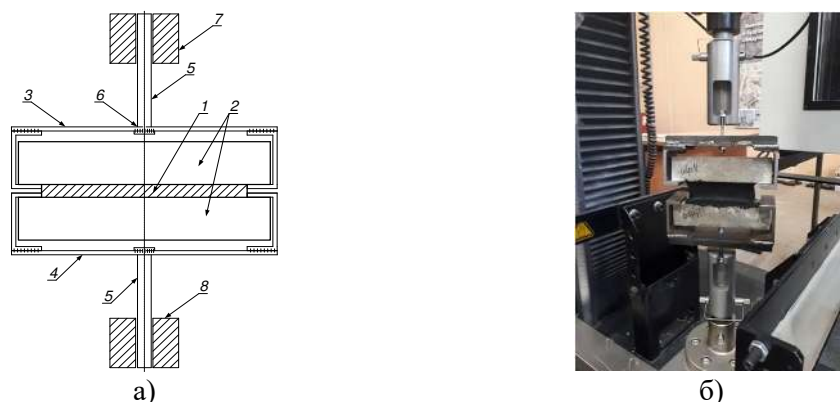


Рис. 1. Схема устройства захватов образца деформационного шва для испытаний герметиков (а) и вид испытанного образца (б):

**1 – герметик; 2 – бетонные балочки; 3, 4 – верхняя и нижняя часть устройства;
5 – металлический стержень устройства; 6 – узел крепления устройства;
7, 8 – верхние и нижние захваты разрывной машины**

Экспериментальные данные, полученные в ходе физико-механических испытаний модифицированных герметиков, представлены на рис. 2 в виде графических зависимостей в координатах «нагрузка–деформация». Обобщенные результаты испытаний сведены в табл. 2. Из представленных на рисунке и в таблице данных видно, что, как и предполагалось, применение исследуемых модифицирующих добавок позволяет значительно улучшить физико-механические показатели герметиков. Установлено, что наибольшей эффективностью обладает модифицированный герметик БП-Г35 (ФВ), включающий комплекс добавок на основе фуллерен-содержащего углерода и волластонита. Применение данных добавок, по сравнению с контрольным составом герметика БП-Г35 способствует повышению прочности при растяжении с 0,42 до 0,77 МПа, то есть в 1,8 раза и относительного удлинения в момент разрыва с 76 до 94%, то есть в 1,2 раза.

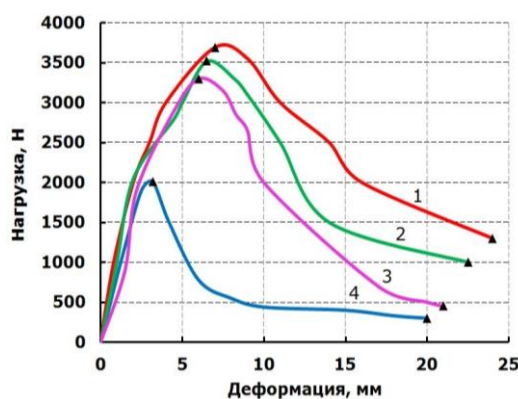


Рис. 2. Изображение диаграммы «нагрузка-деформация», полученной при испытаниях герметика:

**1 – модифицированный герметик БП-Г35 (ФВ); 2 – модифицированный герметик БП-Г35 (ГВ);
3 – модифицированный герметик БП-Г35 (ШВ); 4 – герметик БП-Г35 (без добавок)**

Таблица 2

Физико-механические свойства герметиков, модифицированных комплексом добавок на основе высокодисперсных компонентов

№ п/п	Вид герметика	Физико-механические свойства	
		прочность при растяжении, МПа	относительное удлинение в момент разрыва, %
1	БП-Г35 (ФВ)	0,77	94
2	БП-Г35 (ГВ)	0,75	92
3	БП-Г35 (ШВ)	0,73	87
4	БП-Г35 (без)	0,42	76

Внешний вид образцов деформационного шва с модифицированным герметиком до и после физико-механических испытаний представлен на рис. 3. Для модифицированного герметика отмечается когезионное разрушение, при этом сохраняется адгезия к поверхности образцов деформационного шва, отслоения от бетонных балочек не наблюдалось. Визуально макроструктура герметика является однородной без пор и пустот.



Рис. 3. Внешний вид образца деформационного шва с модифицированным герметиком БП-Г35 (ФВ) до испытаний (а) и после испытаний (б)

Исходя из структурно-феноменологических представлений механизм влияния высокодисперсных добавок и наполнителей на модифицирование структуры и улучшение свойств композитов заключается в следующем [1]. При введении в состав герметика высокодисперсных компонентов формируется микрогетерогенная система, в которой структурообразующими элементами являются как отдельные частицы твердой фазы, так и агрегированные кластеры – агрегаты частиц добавок (рис. 4). Благодаря повышенной поверхностной активности дисперсных частиц, включающих углеродные фуллеренсодержащие соединения, в микрообъеме герметика они являются структурными элементами дополнительной фазы, интегрированными в битумно-полимерную матрицу [1, 4, 8]. Формирование связных структурированных агрегированных микрообъектов, занимающих непрерывные области в битумно-полимерной матрице, обеспечивает упрочнение микроструктуры за счет образования дополнительных межмолекулярных и других связей, приводящих к формированию монолитной структуры, способствующей улучшению физико-механических показателей герметика.

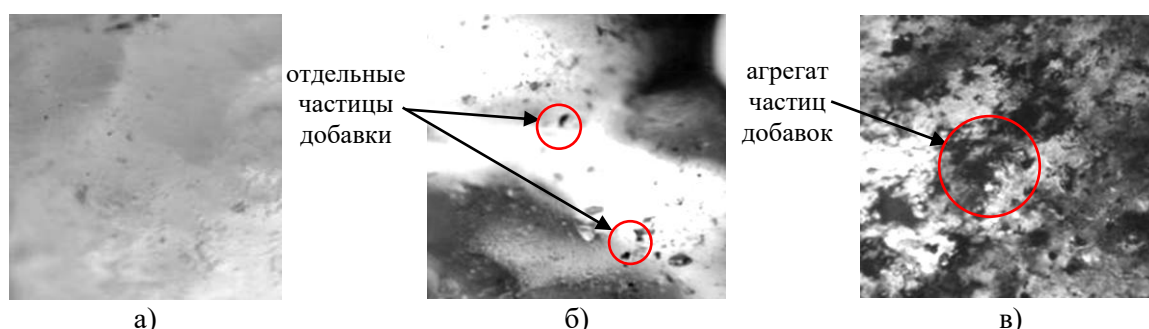


Рис. 4. Изменение структуры полимера герметика при введении высокодисперсных добавок ($\times 100$): а) система без добавок; б) система с добавкой 0,1%; в) система с добавкой 1%

Ранее было показано, что также важной функцией высокодисперсных добавок – наполнителей как упрочняющих компонентов полимерной матрицы является перераспределение локальных напряжений при воздействии растягивающих усилий [1]. В данном случае частицы добавок и их агрегаты, распределенные в объеме материала, способствуют торможению развития дефектов в виде микротрещин, в результате чего повышаются прочностные показатели композита.

Кроме того, применение в составе герметика дополнительного микроармирующего компонента – волластонита, имеющего игольчатую форму и анизотропию частиц с высокими показателями относительного удлинения и модуля упругости, также обеспечивает улучшение прочностных свойств битумно-полимерной герметизирующей композиции при сохранении высокой гибкости и повышенного удлинения при разрыве.

Заключение

В ходе исследований установлено, что применение предложенного комплекса добавок на основе высокодисперсных компонентов (фуллеренсодержащего углерода, графита и шунгита, а также микроармирующего компонента – волластонита) оказывает положительное влияние на модифицирование структуры исследуемых герметиков и улучшение их физико-механических свойств, таких как предел прочности при растяжении и относительное удлинение в момент разрыва. Исходя из структурно-феноменологических представлений показана роль высокодисперсных добавок в формировании структуры и увеличении прочностных показателей герметиков. Применение модифицированных герметиков с улучшенными свойствами позволит повысить надежность и долговечность конструкции деформационных швов аэродромных покрытий и автомобильных дорог, подверженных жестким природно-климатическим и эксплуатационным воздействиям.

Дальнейшие направления исследований предусматривают оптимизацию дозировок в составе модифицированных герметиков, а также исследование влияния комплекса добавок на их эксплуатационные свойства, такие как гибкость, температура липкости, старение под воздействием ультрафиолетового излучения.

Заявленный вклад авторов: А.А. Леденев – проведение теоретического анализа по теме исследований, планирование и организация экспериментальных исследований; Ю.Е. Грядунова – проведение экспериментальных исследований по определению предела прочности при растяжении герметиков, анализ и обобщение результатов; В.К. Макогон – проведение экспериментальных исследований по определению относительного удлинения в момент разрыва герметиков, анализ и обобщение результатов; Д.Н. Внуков – постановка цели и задач исследований, обоснование выбора сырьевых материалов; С.С. Никулин – общее руководство исследованиями, подготовка введения и заключения. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеева Е.В., Бобрышев А.Н., Воронов П.В., Головинский П.А., Лахно А.В., Перцев В.Т. Структурно-реологические свойства дисперсно-зернистых систем: монография. Воронеж: ВГАСУ, 2010. 196 с.
2. Арутюнян Г.А., Григорян К.Г. Синтез композита волластонит–оксид магния из природного сырья // Химическая технология. 2012. Т. 13. № 5. С. 272–274. EDN: PALQLV
3. Грядунова Ю.Е., Леденев А.А., Игуменова Т.И., Никулин С.С. Влияние дисперсных добавок на свойства герметика для швов аэродромного покрытия // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. № 2. С. 8–12. EDN: RUAJTN
4. Зейналов Е.Б., Агагусейнова М.М., Салманова Н.И. Влияние добавок нанокремнезема на стабильность полимерных композитов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2020. Т. 63. Вып. 11. С. 4–12. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6213
5. Игуменова Т.И., Чичварин А.В., Ряскин Д.Ю., Вишневский К.В. Исследование изменения свойств и микроструктуры поверхности пленочных связующих при модификации смесью фуллеренов // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2013. № 4(160). С. 130–133. EDN: SOBOOX
6. Ильичева Е.С., Готлиб Е.М., Пашин Д.М., Буданова Т.В. Волластонит как эффективный наполнитель резин // Вестник Казанского гос. техн. ун-та им. А.Н. Туполева. 2013. № 2-1. С. 49–53. EDN: SPWEIR
7. Ключникова Н.В., Пискарева А.О., Урванов К.А., Гордеев С.А., Генов И.И. Влияние шунгита на эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 2. С. 96–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105.

8. Козлов Г.В., Долбин И.В. Моделирование степени усиления нанокompозитов эластомер/2D-наполнитель // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2019. Т. 63. Вып. 11. С. 103–108. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6276
9. Муртазина Л.И., Гарифуллин А.Р., Никульцев И.А., Галимзянова Р.Ю., Хакимуллин Ю.Н. Непровержаемые герметики высокого наполнения на основе этиленпропилендиенового каучука // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 24. С. 71–73. EDN: RSAYWX
10. Негматов Н.С., Ибадуллаев У.М. Использование высококачественного тонкоизмельченного волластонита в качестве наполнителя резиновых смесей // Каучук и резина. 2001. № 5. С. 9–11.
11. Никулин С.С., Внуков А.Н., Шульгина Ю.Е., Соболев Е.Е. Влияние магнитных полей на свойства герметизирующих материалов аэродромных покрытий // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4(70). С. 207–214. DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-207-214
12. Chichvarin A.V., Igumenova T.I. Features of the thermal degradation of reprecipitated polybutadienes under the influence of a mixture of C50-C92 fullerenes. *International Polymer Science and Technology*. 2014;41(3):52–54. DOI: 10.1177/0307174x1404100312
13. Gotlib E., Sokolova A., Plyicheva E., Kozhevnikov R., Giniatulin A. Wollastonite is the effective filler for rubber and polyvinylchloride. *Scientific Israel – Technological Advantages*. 2013;15(2):30–34. EDN: XUVLGP
14. Lin K., Chang J., Lu J. Synthesis of wollastonite nanowires via hydrothermal microemulsion methods. *Materials Letters*. 2006;60(24):3007–3010. DOI: 10.1016/j.matlet.2006.02.034

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2022. N 3/52

Building Materials and Productswww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-3/81-89>

Ledenev A., Gryadunova Yu., Makogon V., Vnukov D., Nikulin S.

ANDREY A. LEDENEV, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher, ledenoff@mail.ru

JULIA E. GRYADUNOVA, Candidate of Engineering Sciences, Senior Researcher

VALERY K. MAKOGON, Junior Researcher

DMITRY N. VNUKOV, Candidate of Sciences, Associate Professor, Deputy Chief of Chair

*Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky**and Y.A. Gagarin Air Force Academy*

SERGEY S. NIKULIN, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Voronezh State University of Engineering Technologies

Voronezh, Russia

Modified sealing materials with improved physical and mechanical properties for movement joints of airfield coatings and highways

Abstract. Application of sealing materials (sealants) with improved physical and mechanical properties for movement joints of asphalt concrete and cement concrete airfield coatings and highways (coatings) is one of the ways to increase their reliability and durability. An effective way to control gelation and directed regulation of the properties of sealants in terms of improving physical and mechanical properties is the use of a complex of modifying additives based on superfine components of various mechanisms of action. The purpose of the article is to modify the structure and improve the physical and mechanical properties of sealants for movement joints of coatings by a complex of additives based on highly dispersed components. During the research, the choice of effective additives based on highly superfine components - fullerene-containing carbon, graphite and shungite, as well as a microreinforcing component - wollastonite, was substantiated. It has been experimentally established that the use of the proposed set of additives has a positive effect on modifying the structure of the bitumen-polymer sealant and improves its physical and mechanical properties - tensile strength, relative elongation at the rupture moment. Based on structurally phenomenological concepts, the role of highly dispersed additives in the mechanism of structure formation and increase in the strength characteristics of sealants is shown. Application of sealants modified by additives with improved physical and mechanical properties is

recommended to increase the reliability and durability of the design of movement joints for airfield and highway coatings.

Keywords: sealing materials, superfine additives, modification of structure, airfield and highway coatings, physical and mechanical properties

For citation: Ledenev A., Gryadunova Yu., Makogon V., Vnukov D., Nikulin S. Modified sealing materials with improved physical and mechanical properties for movement joints of airfield coatings and highways. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2022;(3):81-89. (In Russ.).

Contribution of the authors: A.A. Ledenev – carrying out of the theoretical analysis of the research topic, planning and organizing of experimental researches; Yu.E. Gryadunova – carrying out of experimental researches by definition ultimate tensile strength of sealants, analysis and generalization of the results; V.K. Makogon – carrying out of experimental researches by definition an elongation at the time of sealant rupture, the analysis and generalization of the results; D.N. Vnukov – statement of the purpose and research problems, a substantiation of sampling of raw materials; S.S. Nikulin – general management of researches, introduction and conclusion preparation.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Alekseeva E., Bobryshev A., Voronov P., Golovinsky P., Lahno A., Pertsev V. Structural and rheological properties of dispersed-granular systems: monography. Voronezh, VGASU, 2010. 196 p. (In Russ.).
2. Arutyunyan G., Grigoryan K. Synthesis of wollastonite-magnesium oxide composite from natural raw materials. *Chemical technology*. 2012;13(5):272–274. (In Russ.). EDN: PALQLV
3. Gryadunova Yu., Ledenev A., Igumenova T., Nikulin S. Influence of dispersed additives on properties of sealant for joints of airfield carpet. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*. 2020;(2):8–12. (In Russ.). EDN: RUAJTN
4. Zeynalov E.B., Agaguseynova M.M., Salmanova N.I. Effect of nanocarbon additives on stability of polymer composites. *Russ. J. Chem. & Chem. Tech.* 2020;63(11):4–12. (In Russ.). DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6213
5. Igumenova T., Chichvarin A., Rjaskin D., Vishnevsky K. Research changes of properties and surface microstructure film binders on modifications mixture of fullerenes. *Proceedings of BSTU. Chemistry, organic substances technology and biotechnology*. 2013;(4):130–133. (In Russ.). EDN: SOBOOX
6. Il'icheva E.S., Gotlib E.M., Pashin D.M., Budanova T.V. Wollastonite as an effective filler of polymer materials. *Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva*. 2013;(2-1):49–53. (In Russ.). EDN: SPWEIR
7. Klyuchnikova N.V., Piskareva O.A., Urvanov K.A., Gordeev S.A., Genov I. Influence of shungite on performance properties of polymeric composite material. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020;(2):96–105. (In Russ.). DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105
8. Kozlov G.V., Dolbin I.V. Simulation of reinforcement degree of nanocomposites elastomer/2D-nanofiller. *Russ. J. Chem. & Chem. Tech.* 2019;62(2):103–108. (In Russ.). DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6276
9. Murtazina L.I., Garifullin A.R., Nikultsev I.A., Galimzyanova R.Yu., Khakimullin Yu.N. Non-cured high-filling sealants based on ethylene propylene diene rubber. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2013;16(24):71–73. (In Russ.). EDN: RSAYWX
10. Negmatov N.S., Ibadullaev U.M. The use of high-quality finely ground wollastonite as a filler of rubber mixtures. *Kauchuk i rezina*. 2001;(5):9–11. (In Russ.).
11. Nikulin S., Vnukov A., Shulgina Yu., Sobolev E. The effect of magnetic fields on the properties of sealing materials of airfield pavements. *Proceedings of VSUET*. 2016;(4):207–214. (In Russ.). DOI: 10.20914/2310-1202-2016-4-207-214
12. Chichvarin A., Igumenova T., Features of the thermal degradation of reprecipitated polybutadienes under the influence of a mixture of C50-C92 fullerenes. *International Polymer Science and Technology*. 2014;41(3):52–54. DOI: 10.1177/0307174x1404100312.
13. Gotlib E., Sokolova A., Ilyicheva E., Kozhevnikov R., Giniatulin A. Wollastonite is the effective filler for rubber and polyvinylchloride. *Scientific Israel – Technological Advantages*. 2013;15(2):30–34. EDN: XUVLGP
14. Lin K., Chang J., Lu J. Synthesis of wollastonite nanowires via hydrothermal microemulsion methods. *Materials Letters*. 2006;60(24):3007–3010. DOI: 10.1016/j.matlet.2006.02.034