

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105

^{1,*}Ключникова Н.В., ¹Пискарева А.О., ¹Урванов К.А., ¹Гордеев С.А., ²Генов И.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Фонд науки и образования Болгария

*E-mail: 4494.55@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ШУНГИТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация. Полимеры всё чаще вытесняют привычные материалы, такие как дерево, металлы, натуральные волокна. Причиной этому служит ряд преимуществ полимерных материалов перед классическими: повышенная химическая стойкость к агрессивным средам, высокие показатели прочности, долговечность в эксплуатации изделий. Стоит отметить, что полимерные материалы активно используются также и в пищевой промышленности.

Использование полимерной упаковки достигает глобальных масштабов. Совершенствование технологий производства и рецептур позволяет создавать новые полимерные композиты с улучшенными свойствами, что даёт стремительный рост полимерной промышленности.

Для придания необходимых свойств в полимерный материал вводят наполнители. Посредством ввода в полимер таких добавок можно контролировать свойства получаемого материала, например, вязкость, плотность, прозрачность, бактерицидность и другие немаловажные свойства.

В статье рассматривается влияние шунгита на эксплуатационные свойства готового композита на основе полиэтилена низкого давления.

Результаты исследований показали, что полученный композит обеспечивает наиболее высокие характеристики в отношении отражения и поглощения света, для всех имеющих значение при эксплуатации областей длин волн, обладает бактерицидными свойствами, доказано, что в шунгитонаполненном полимере наблюдается сдвиг температуры начала термодеструкции в сторону более высоких температур. Композит приобретает более высокие эксплуатационные и физико-механические свойства.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал (ПКМ), полимер, полиэтилен низкого давления, шунгит.

Введение. На сегодняшний день упаковка является самой широкой и востребованной областью применения полимерных материалов [1]. Обуславливается это тем, что полимерные материалы просты в обработке и изготовлении, устойчивы к разбиванию, обладают небольшой массой и стоимостью, устойчивы к воздействию различных химических веществ, просты в изготовлении в мелкосерийном и серийном производстве, обладают невысокой стоимостью, а также пластиковая тара довольно гибка в проектировании, что позволяет получить формы изделия, которые невозможно получить при использовании традиционных материалов [2].

При использовании полимеров в качестве упаковки существуют и недостатки: появление постороннего запаха, старение под действием агрессивных сред и ультрафиолетового излучения (фотостарение), сложность идентификации при утилизации, возможность миграции органических компонентов в продукцию [3].

Для реализации быстрого, массового и относительно дешевого производства полимерных материалов, которые могут быть применены в пищевой или иной другой промышленности, используемые исходные компоненты необходимо

обеспечить хорошими эксплуатационными свойствами, легкой перерабатываемостью и соответствующей технологичностью, а также обеспечить приемлемое равновесие между жёсткостью и пластичностью [4].

Для достижения этих целей, в процессе создания полимерных композиционных материалов в качестве наполнителей вводятся структурно-активные добавки, имеющие развитую удельную поверхность. Таким образом можно осуществить регулирование функциональных свойств композиционных материалов с целью эксплуатации в различных условиях [5].

Характеристики наполненных полимерных композиционных материалов имеют прямую зависимость от свойств дисперсного наполнителя и свойств полимерной матрицы, а также их взаимодействия на границе раздела. Вследствие этого взаимодействия происходит увеличение температур стеклования и текучести из-за снижения в граничном слое подвижности макромолекул и их сегментов. [6, 7].

Так как на сегодняшний день проблема взаимодействия наполнителей и матриц крайне многогранна, научные исследования в сфере полимерного материаловедения обуславливают

становление технологии композиционных полимерных материалов. В современном мире используются полимерные композиционные материалы не только в технике, но и в повседневной жизни, поэтому знание основных свойств и качеств этих материалов и способность правильно их применять со временем становится все более актуальным [8].

Полимерная матрица (связующее, дисперсная среда) – главный элемент полимерного композиционного материала, определяемый условия при изготовлении композита и его характеристик при эксплуатации [9–10].

На сегодняшний день, одной из главных задач является создание термопластичных матриц для ПКМ, во многом определяющих свойства готовых ПКМ. Основной функцией матрицы, является связывание волокон друг с другом, благодаря чему ПКМ приобретает прочную монолитную конструкцию. За счет дисперсности частиц и высокой пластичности, она защищает мелкодисперсный наполнитель от неблагоприятного воздействия окружающей среды. Помимо этого, полимерная матрица принимает внешние нагрузки и передает их частицам второй фазы, после этого происходит перераспределение между волокнами и дисперсными частицами [11–12].

От таких свойств полимерной матрицы как: термостойкость, прочность, вязкость разрушения, огне-, водо- и атмосферостойкость, жесткость, ударная прочность, пластичность, температурное поведение, ударная вязкость, химическая стойкость зависит качество реализации физико-механических и эксплуатационных свойств [13]. Стоит отметить, что при разработке полимерных термопластичных связующих решающую роль играют их технологические свойства (усадка, смачиваемость армирующего материала, кинетика отверждения, вязкость и давление переработки, и т.д.).

Из-за того, что необходимо формулировать широкий комплекс противоречивых требований к полимерному связующему, разработка матриц, подходящих для конкретного применения, ограничена. Например, из-за необходимости детального описания процесса разрушения, разнообразия механизмов разрушения полимерных композиционных материалов и исследования образцов в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации материала в готовом изделии, довольно сложно установить соответствующие требования к физико-механическим характеристикам термопластичной матрицы для достижения максимальной прочности композиционных материалов [14].

ПКМ по химической природе связующих подразделяются на терморективные и термопластичные полимеры.

Отличительной особенностью терморективных полимеров (реактопластов) является необратимость перехода в стеклообразное состояние с пространственной сетчатой структурой при нагреве. Полимерную часть реактопласта называют «смолой» [15].

В число терморективных полимеров входят: карбамидные, эпоксидные, фенолоальдегидные, полиуретановые, а также ненасыщенные полиэфирные смолы. Для того, чтобы получить ПКМ используют полимеры вместе с добавками.

Термопластичные полимеры (термопласты) – полимерные материалы при обычной температуре находящиеся в твердом состоянии, однако способные обратимо переходить при нагревании в высокоэластичное либо вязкотекучее состояние за счет макромолекул, которые имеют слаборазветвленную или линейную форму с физическими связями между макромолекулами, сохраняя при этом основные физические свойства полимера. Благодаря этим уникальным свойствам становится возможным получение изделий из расплава, а также вторичная переработка полимеров [16].

В число термопластичных полимеров входят: полиамиды, поливинилхлорид, полиэтилен-терефталат, полистирол, поликарбонаты, полиформальдегид, полиолефины (полиэтилен, полипропилен) и т.д. [17].

Проанализировав вышеизложенную информацию, опираясь на цель исследования, предпочтение было отдано термопластичному связующему. Стоит отметить, что ПМ на основе полиэтилена низкого давления являются приоритетными при создании ПКМ для производства тары и плёнок. Это обусловлено уникальными свойствами ПЭНД, а именно высокой химической инертностью, малой плотностью, повышенными механическими свойствами и другими качественными характеристиками. К главным достоинствам изделий на основе ПЭНД можно отнести срок службы около 40 лет; отсутствие специального ухода; высокая эластичность, малый вес, низкая стоимость производства, высокие экологические свойства

Его выбор обусловлен условиями эксплуатации изделия, технологическими свойствами, а также стоимостью и доступностью пластмассы.

В настоящее время активно ведется поиск дисперсных наполнителей, способных существенно повысить эксплуатационные свойства крупнотоннажных термопластов [18].

Таблица 1

Характеристика дисперсных наполнителей

Наполнитель	Плотность, кг/м ³	Модуль упругости, ГПа	Температура, °С	Стоимость, руб/кг	Объем производства, т
Сажа	50–500	–	1000	40	885 тыс
Мел	1400–2700	6-9	920 (Тр)	5,50	3381 млрд
Шунгит	2250–2400	31	500	20	2 млрд
Тальк	2788	3,5	1500 (Тпл)	41	100 тыс

Сравнивая свойства наиболее используемых дисперсных наполнителей (табл. 1), явно видны преимущества шунгита. Лидирующую позицию среди прочих занимает мел, обусловлено это его крайне низкой стоимостью. Однако беря во внимание то, что зачастую продукты питания нельзя хранить под прямыми солнечными лучами в приоритете будет полимер, в котором наполнителем выступает шунгит или сажа, так как он непрозрачен, что дает ему неоспоримое преимущество перед полимером наполненным мелом или тальком. В тоже время сажа уступает шунгиту в выборе наполнителя для пищевой промышленности, так как является канцерогеном. В отличие от технического углерода, содержащего вредные токсичные вещества, которые приводят к изменению клеток на генетическом уровне, шунгит обладает бактерицидными свойствами.

Основная часть. Для получения композиционного полимерного материала выбор был остановлен на полиэтилене низкого давления и природном минерале шунгите (рис. 1).



Рис. 1. Структура шунгита

Присутствие фуллереноподобных структур обуславливает большую концентрацию парамагнитных центров (1019 спин/г) в минерале. Значительная концентрация парамагнитных центров характеризует повышенную активность шунгита в окислительно-восстановительных реакциях, что делает перспективным его применение в полимерных материалах с целью повышения их

стойкости к окислению, тепло- и термостойкости.

Одно из основных достоинств шунгита заключается в том, что данный минерал полностью состоит из биполярных высокодисперсных частиц. Такое уникальное свойство минерала позволяет хорошо внедрять шунгит в качестве наполнителя в разнообразные полимерные материалы. Наполненные шунгитом ПКМ обладают высокой износостойкостью по сравнению с другими полимерными композитами, например, при близких по значению степенях диспергирования и наполнения кварцевый наполнитель уступает в физико-механических свойствах шунгиту.

Полученный полимерный композиционный материал предполагается использовать для строительной и пищевой промышленности, поэтому он должен быть фотоустойчивым, бактерицидным, термостойким и прочным [19].

Эксплуатационные и физико-механические свойства ПКМ, были исследованы на пленочных образцах с содержанием шунгита от 1,0 до 10 %, и на брусках с содержанием шунгита от 10 до 40 %.

Способность материала вызывать гибель грибов-деструкторов за счёт введения в его состав определённого биоцида называется фунгицидностью полимерного композита. Способность не утилизироваться (не служить источником питания) грибами-деструкторами, т.е. быть биостойкой называется грибостойкостью ПКМ.

Оценка грибостойкости полимерного композита производилась в соответствии с ГОСТ 9.049–91 (пластмассы, пластики, компаунды, резины, клеи, герметики). Испытания материала проводились как по стандартной методике (к ассоциативной культуре микромицетов), так и модифицированным методом (к отдельным видам грибов)

Грибостойкость образцов оценивалась по интенсивности развития грибов по пятибалльной шкале ГОСТ 9.048-89 (табл. 2).

Все образцы материала являются грибостойким по отношению ко всем девяти тест-культурам, а также к ассоциативной культуре оценка устойчивости не превышала 0–3 баллов (табл. 3).

Таблица 2

Оценка интенсивности развития грибов

Балл	Характеристика балла
0	Прорастание спор и конидий под микроскопом не обнаружено
1	Проросшие споры и незначительно развитый мицелий видны под микроскопом
2	Развитый мицелий, возможно спороношение заметны под микроскопом
3	Невооружённым глазом мицелий и (или) спороношение едва заметны, но отчётливо видны под микроскопом
4	Развитие грибов, покрывающих менее 25 % испытуемой поверхности, отчётливо видно невооружённым глазом
5	Рост грибов, покрывающих более 25 % испытуемой поверхности, отчётливо видно невооружённым глазом

Таблица 3

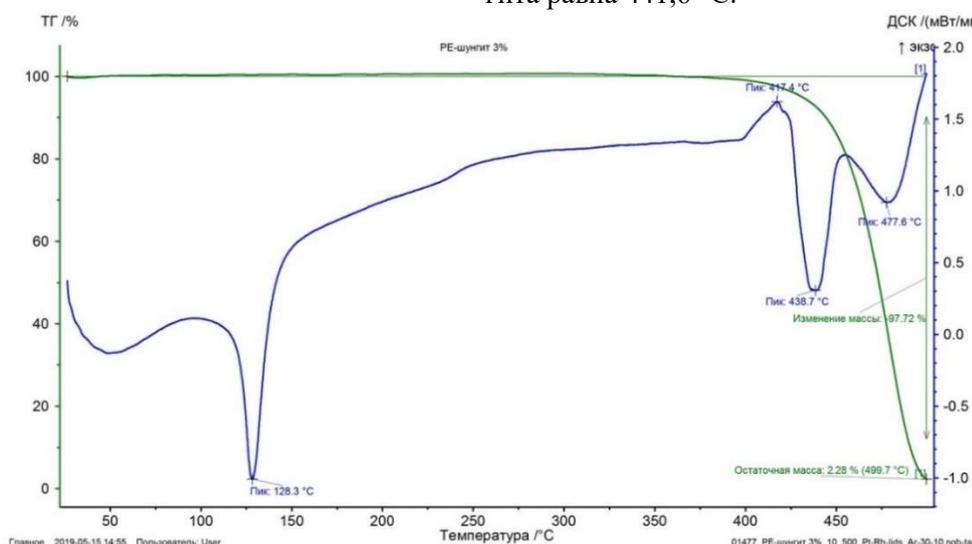
Грибостойкость ПКМ

Вид гриба	Степень обрастания в баллах			
	ПЭНД	ПЭНД+5 % шунгита	ПММА+10 % шунгита	ПММА+26 % шунгита
AspergillusterreusThom	4	3	2	2
AspergillusnigervanTieghem	3	2	2	1
Aspergillusoryzae (Ahlburg) Cohn	2	0	0	0
PenicilliumchrysogenumThom	4	2	1	0
TrichodermaviridePersoon	4	3	3	2
Ассоциативная культура	2	0	0	0

Бактерицидная и антимикологическая активность изготовленного композита обуславливается, ион-радикальной активностью шунгита, а также наличием в его составе фуллеренов, что чрезвычайно важно при создании материалов для пищевой промышленности, которые по рекомендации ГОСТа должны быть устойчивы к воздействию агрессивных биологических сред.

Без определения термостабильности полимерного композита невозможно установить правильный интервал его переработки, который находится между температурами текучести и деструкции, а также грамотно оценить его эксплуатационные свойства. Химические превращения,

при которых масса образца снижается, обуславливаются термической и термоокислительной деструкцией, за счет снижения молекулярной массы из-за разрыва химических связей в макромолекулах, выделения летучих продуктов деструкции, а также изменением окраски, уменьшением прочности ПКМ и др [20]. Дифференциальный термический анализ показал, что с увеличением содержания шунгита происходит смещение температуры деструкции в сторону высоких температур (рис. 2-3). Стоит отметить, что температура деструкции полиэтилена низкого давления равна 320 °С, при введении 3 % шунгита она достигает 438,7 °С, а при введении 26 % шунгита равна 441,6 °С.



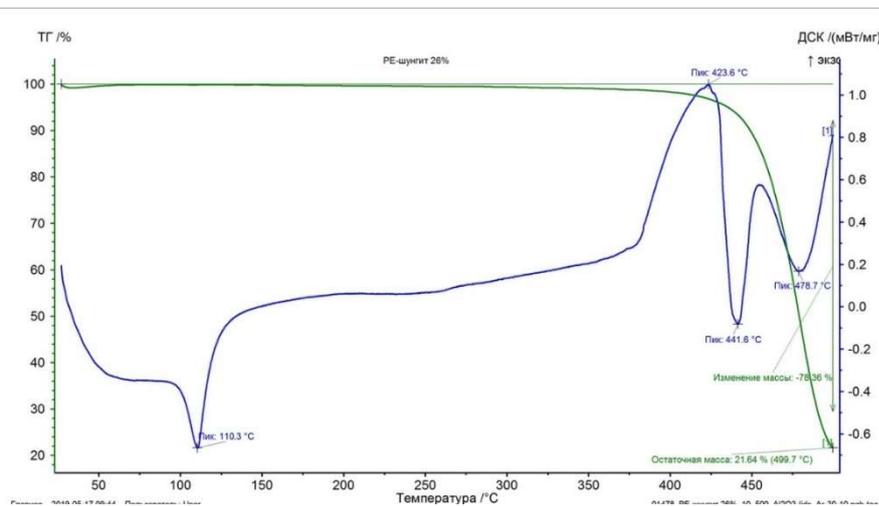


Рис. 3 Дифференциальный термический анализ ПЭНД+26% шунгита

Более высокие температуры деструкции ПКМ, наполненного шунгитом, связаны с наличием радикальных и ион-радикальных центров на поверхности минерала, которые блокируют активные радикалы ПЭНД, что приводит к их рекомбинации, а, следовательно, к повышению термостойкости [20].

Упаковочные материалы, в том числе пленочные, при хранении подвергаются воздействию ультрафиолетовых лучей. Устойчивость к фотостарению является обязательной характеристикой данного полимерного композиционного материала.

При использовании полимерных материалов для упаковки пищевых продуктов обычная мера для достижения лучших светозащитных свойств заключается в добавлении к полимерному материалу светоотражающих и/или светопоглощающих агентов. В рамках данной работы эту функцию выполняет шунгит.

Исследование устойчивости образцов к воздействию ультрафиолетового излучения прово-

дилось с помощью вакуумной настольной установки «VSE-UV.c». Образцы выдерживались в ультрафиолете (300–400 нм) в течение 3 циклов по 8 часов, изменений и дефектов не было обнаружено (рис. 3), что свидетельствует о высокой стойкости материала к солнечному свету. Так же фотостарение отсутствует у образцов, которые выдерживались в экстремальном ультрафиолете (120–10 нм) в течении 24 часов (рис. 4–7).

Таким образом, был создан полимерный композит, обеспечивающий наиболее высокие характеристики в отношении отражения и поглощения света, для всех имеющих значение при эксплуатации областей длин волн.

Одной из важных характеристик механических свойств ПКМ является предел текучести. При испытании измеряли нагрузку и удлинение универсального образца в момент достижения предела текучести. Показатель предела текучести был исследован согласно ГОСТ 14236-81 на универсальной испытательной машине для проведения механических испытаний фирмы Galdabini.

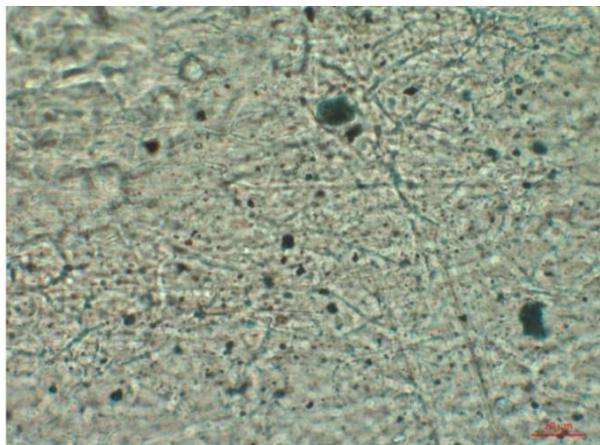


Рис. 4 Пленка с содержанием 2 % шунгита после облучения, 20 нм



Рис. 5. Пленка с содержанием 2 % шунгита после облучения, 200 нм

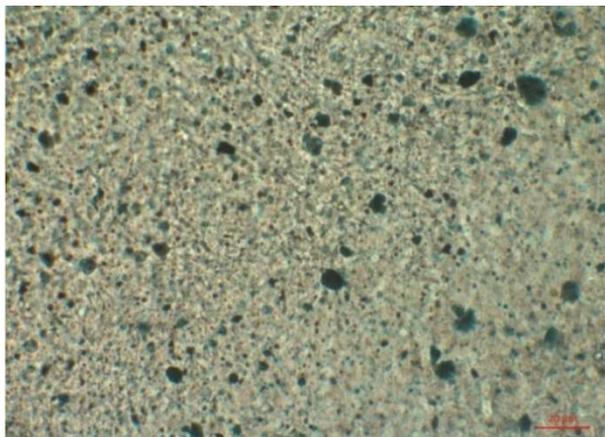


Рис. 6 Пленка с содержанием 4 % шунгита после облучения, 20 нм



Рис. 7. Пленка с содержанием 4 % шунгита после облучения, 200 нм

Предел текучести определяли по формуле:

$$S_x = \frac{F_r}{A_0}, \quad (1)$$

где F_r – растягивающая нагрузка при достижении предела текучести, Н; A_0 – начальное поперечное сечение образца, мм².

Как видно (рис. 8) при возрастании содержания шунгита в ПКМ показатель предела текучести увеличивается. Стоит отметить, чем выше

предел текучести, тем больше нагрузки материал может выдержать. Таким образом, введение 40 % шунгита обеспечивает ПКМ наибольшую стойкость к нагрузкам, но на переработку данного композита потребуется больше энергозатрат, следовательно, оптимальное содержание шунгита – 10 %.

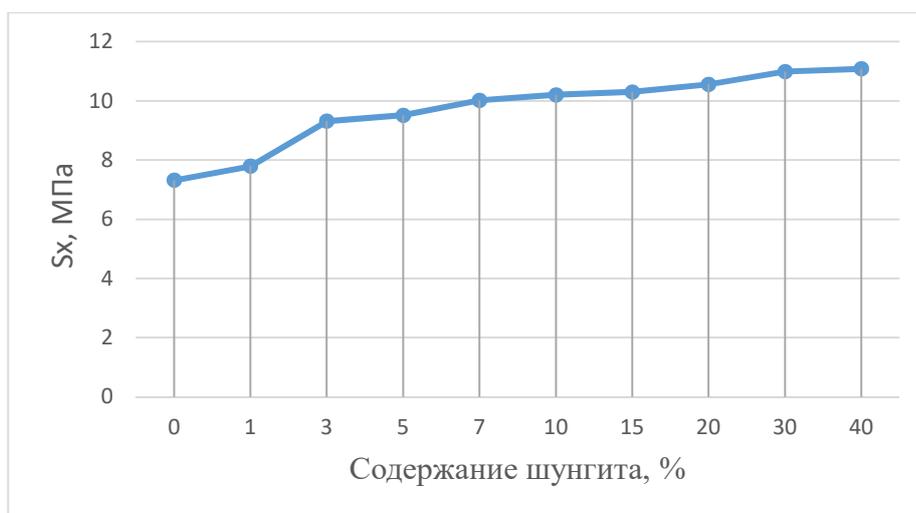


Рис. 8. Зависимость предела текучести от содержания шунгита в ПКМ.

Выводы. Проанализировав результаты проведенных исследований можно сделать вывод, что введение шунгита в полимерную матрицу позволяет придать более высокие эксплуатационные свойства композиционному материалу. Разработанный материал является фотоустойчивым и бактерицидным, что позволяет успешно использовать его в качестве упаковки для пищевой промышленности. Следует отметить, что для производства полимерного композиционного материала на основе ПЭНД и шунгита не требуется дополнительное оборудование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комова Н.Н., Потапов Е.Э., Прут Э.В., Солодилов В.И., Ковалева А.Н. Экспресс-метод оценки активности шунгитового наполнителя в эластомерных композиционных материалах // Каучук и резина. 2017. №2. Т. 77. С. 92–96.
2. Klyuchnikova N.V., Sokolenko I.V., Evtushenko E. Influence of Metal Component on Caking of Metal-Ceramic Composites Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2014. № 5(5). P. 1637

3. Ключникова Н.В., Пискарева А.О. Получение полимерного воска из отходов производства полиэтиленовых труб // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 106–109.
4. Ключникова Н.В., Гордеев С.А., Гордиенко М.Д. Полимерный композиционный материал на основе термопластичного полиимида. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 12. С. 126–129
5. Осипов П.О. Проблемы утилизации и переработки полимеров. СПб.: Pakkermash, 2008. 53 с.
6. Генов И., Мухачева В.Д., Ключникова Н.В., Пискарева А.О. Защитные покрытия на основе модифицированных фенолформальдегидных композитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 12. С. 91–97
7. Генов И., Кудина А.Е., Ключникова Н.В. Полимерное поверхностно-активное вещество для нефтедобывающей отрасли. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. № 11. С. 99–104
8. Ковалевский, В. В. Шунгитовые породы – перспективы и проблемы использования в композиционных материалах. Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов. В. В. Ковалевский. М.: 21 век, 2001. 303 с.
9. Zhang, H The effect of inorganic filler on charging properties of low density polyethylene / H. Zhang, Q. Yang, W. Wang Et al. Proc. of 9th Int. Symp. on Electrets. Shanghai, China, 1996. Pp. 323–328.
10. Прохорова С.Н., Потапов Е.Э., Иорданский Ф.П., Иванов В.В., Пятов И.С. Исследование процессов водонабухания пакерных резин // Каучук и резина, 2018. №1. Т.77. С. 30–34
11. Хачатуров А.А., Потапов Е.Э., Колесов В.В., Фионов А.С., Бобров А.П., Смаль В.А., Прут Э.В., Шевченко В.Г., Тикунова И.В. Изучение электрофизических и акустических свойств полимерных композиционных материалов на основе СКЭПТ и шунгита // Каучук и резина, 2018. №2 Т. 77. С. 96–101.
12. Сорокина О.В., Потапов Е.Э., Резниченко С.В., Бобров А.П., Смаль В.А., Ядыкина В.В., Тикунова И.В. Исследование свойств высоконаполненных композитов на основе битума и шунгита (карелита) // Каучук и резина. 2018. №2. Т. 77. С. 92–96.
13. Чан ХьюТхань, Рахматулина А.П., Хусаинов А.Р., Потапов Е.Э. Модификация резин на основе СКИ некаучуковыми компонентами, содержащихся в серуме латекса НК. Науч.-техн. Сборник // Промышленное производство и использование эластомеров. 2017. Т. 3-4. С. 33–38.
14. Потапов Е.Э., Сорокина О.В., Шелухина А.А. и др. Изучение влияния шунгита (Карелита) на свойства полимер-битумных композитов. Тез. докл. конф. «Каучук и резина –2018: традиции и новации» (Москва, 2018). С. 86.
15. Прут Э.В., Жорина Л.А., Кузнецова О.П., Колотилин Д.В., Крашенников В.Г., Сергеев А.И., Ермилов В.В., Потапов Е.Э., Волик В.Г. Композиты на основе полиэтилена и гидролизата кератина // Химическая физика. 2018. Т. 37. №4. С. 91–99.
16. Хачатуров А.А., Потапов Е.Э., Фионов А.С., Колесов В.В., Прут Э.В. Функциональные эластомерные материалы на основе бутадienstирольных каучуков и магнетита. Материалы докладов VIII Всероссийской конференции «Каучук и резина 2018: традиции и новации», 25-26 апреля, Москва, Экспоцентр, 64 с.
17. Комова Н.Н., Потапов Е.Э., Эрастов И.К. Электрофизические свойства полихлоропрена, наполненного шунгитом. Материалы докладов VIII Всероссийской конференции «Каучук и резина 2018: традиции и новации», 25-26 апреля, Москва, Экспоцентр, 75 с.
18. Чан ХьюТхань, А.П. Рахматуллина, В.Е. Проскурина, Ю.Г. Галяметдинов, Е.Э. Потапов. Модификация синтетического изопренового каучука белково-липидными комплексами. Материалы докладов VIII Всероссийской конференции «Каучук и резина 2018: традиции и новации», 25-26 апреля, Москва, Экспоцентр, 71 с.
19. Ханин М.В. Изнашивание и разрушение полимерных композиционных материалов. М.В. Ханин, Г.П. Зайцев. М.: Химия, 2009. 256 с.
20. Bobrov A.P., Kablov W.F., Smail V.A. Study of the abrasive activity of natural carbon-containing mineral Compound ingredients of Polymer composites. Interm. Polym. Sci. and Technol 2015. Vol. 42, №9. Pp. 68–71.

Информация об авторах

Ключникова Наталья Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной химии E-mail: 4494.55@vail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Генов Иван, директор Фонда науки и образования. Болгария, г. Бургас, ул. Оборище, 21. E-mail: office@sciencebg.net

Урванов Кирилл Андреевич, студент 4 курса кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail: zerstoren575@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Пискарева Анастасия Олеговна, студент 1 курса магистратуры кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail: a.burdasova@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гордеев Семен Александрович, студент 4 курса кафедры теоретической и прикладной химии. E-mail: lie_to_me_house@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2019 г.

© Ключникова Н.В., Пискарева А.О., Урванов К.А., Гордеев С.А., Генов И., 2020

^{1,*}Klyuchnikova N.V., ¹Piskareva O.A., ¹Urvanov K.A., ¹Gordeev S.A., ²Genov I.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

²Foundation for Science and Education Bulgaria

*E-mail: 4494.55@mail.ru

INFLUENCE OF SHUNGITE ON PERFORMANCE PROPERTIES OF POLYMERIC COMPOSITE MATERIAL

Abstract. *Polymers are increasingly replacing conventional materials such as wood, metals, natural fibers. This is due to a number of advantages of polymer materials over classic ones: increased chemical resistance to aggressive environments, high strength indicators and durability in the operation of products. In addition, polymeric materials are actively used in the food industry.*

The use of polymer packaging is reaching global proportions. Improving production technologies and formulations allows to create new polymer composites with improved properties, which gives the rapid growth of the polymer industry.

In order to impart the necessary properties, fillers are introduced into the polymeric material. By introducing such additives into the polymer, it is possible to control the properties of the material obtained, for example, viscosity, density, transparency, bactericidal and other important properties.

The article considers the influence of shungite on the operational properties of the finished composite based on low-pressure polyethylene.

The research results showed that the composite obtained provides the highest characteristics with respect to light reflection and absorption for all wavelength regions that are important during operation, has bactericidal properties, and it has been proved that in the shungite-filled polymer, a shift in the temperature of the onset of thermal degradation towards higher temperatures is observed. The composite acquires higher operational and physico-mechanical properties.

Keywords: *polymer composite material (PCM), polymer, low-pressure polyethylene, shungite.*

REFERENCES

1. Komova N.N., Potapov E.E., Prut E.V., Solodilov V.I., Kovaleva A.N. Express method for evaluating the activity of shungite filler in elastomeric composite materials [Ekspress-metod ocenki aktivnosti shungitovogo napolnitelya v elastomernyh kompozicionnyh materialah]. Rubber and Rubber. 2017. No. 2. Vol. 77. Pp. 92–96. (rus)
2. Klyuchnikova N.V., Sokolenko I.V., Evtushenko E. Influence of Metal Component on Caking of Metal-Ceramic Composites Research Journal of Pharmaceutical // Biological and Chemical Sciences. 2014. No. 5 (5). P. 1637
3. Klyuchnikova N.V., Piskareva A.O. Obtaining polymer wax from waste products of polyethylene pipes [Poluchenie polimernogo voska iz othodov proizvodstv polietilenovykh trub]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 11. Pp. 106–109. (rus)
4. Klyuchnikova N.V., Gordeev S.A., Gordienko M.D. Polymer composite material based on thermoplastic polyimide [Polimernyj kompozicionnyj material na osnove termoplastichnogo poliimida]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 12. Pp. 126–129 (rus)
5. Osipov P.O. Problems of utilization and processing of polymers [Problemy utilizacii i pererabotki polimerov]. P.O. Osipov. St. Petersburg: Pakkermash, 2008. 53 p. (rus)
6. Genov I., Mukhacheva V.D., Klyuchnikova N.V., Piskareva A.O. Protective coatings based on

modified phenol-formaldehyde composites [Zashchitnye pokrytiya na osnove modifitsirovannykh fenolformal'degidnykh kompozitov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 12. Pp. 91–97. (rus)

7. Genov I., Kudina A.E., Klyuchnikova N.V. Polymer surfactant for the oil industry [Polimernoe poverhnostno-aktivnoe veshchestvo dlya neftedobyvayushchej otrasli]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 11. Pp. 99–104(rus)

8. Kovalevsky V.V. Shungite rocks - prospects and problems of use in composite materials. Theory and practice of manufacturing technologies for products from composite materials and new metal alloys [SHungitovye porody – perspektivy i problemy ispol'zovaniya v kompozitsionnykh materialah. Teoriya i praktika tekhnologiy proizvodstva izdelij iz kompozitsionnykh materialov i novykh metallicheskikh splavov]. M.: 21 century, 2001. 330 p. (rus)

9. Zhang H., Yang Q., Wang W. Et al. The effect of inorganic filler on charging properties of low density polyethylene. Proc. of 9th Int. Symp on Electrets. Shanghai, China, 1996. Pp. 323–328.

10. Prokhorova S.N., Potapov E.E., Jordan F.P., Ivanov V.V., Pyatov I.S. Investigation of the processes of water swelling of packer rubbers [Issledovanie processov vodunabuhaniya pakernykh rezin]. Rubber and Rubber. 2018. No. 1. Vol. 77. Pp. 30–34. (rus)

11. Khachaturov A.A., Potapov E.E., Kolesov V.V., Fionov A.S., Bobrov A.P., Smal V.A., Prut E.V., Shevchenko V.G., Tikunova I.V. Study of the electrophysical and acoustic properties of polymer composite materials based on SKEPT and schungite [Izuchenie elektrofizicheskikh i akusticheskikh svoystv polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove SKEPT i shungita]. Rubber and rubber. 2018. No. 2 Vol. 77. Pp. 96–101.(rus)

12. Sorokina O.V., Potapov E.E., Reznichenko S.V., Bobrov A.P., Smal V.A., Yadykina V.V., Tikunova I.V. Investigation of the properties of highly filled composites based on bitumen and shungite (Karelite) [Issledovanie svoystv vysokonapolnennykh kompozitov na osnove bituma i shungita (karelita)]. Rubber and rubber. 2018. No. 2. Vol. 77. Pp. 92–96. (rus)

13. Chan Huu Than, Rakhmatulin A.P., Khusainov A.R., Potapov E.E. Modification of rubber based on SKI with non-rubber components contained in NK latex serum [Modifikatsiya rezin na osnove SKI nekauchukovymi komponentami, sodержash-

chihsya v serume lateksa NK]. Scientific and technical The collection "Industrial production and use of elastomers". 2017. Vol. 3-4. Pp. 33–38. (rus)

14. Potapov E.E., Sorokina O.V., Shelukhina A.A. et al. Study of the influence of shungite (Karelite) on the properties of polymer-bitumen composites [Izuchenie vliyaniya shungita (Karelita) na svoystva polimer-bitumnykh kompozitov]. Thesis Doc. conf. "Rubber and Rubber –2018: Traditions and Innovations" (Moscow, 2018). 86 p.(rus)

15. Prut E.V., Zhorina L.A., Kuznetsova O.P., Kolotilin D.V., Krashennikov V.G., Sergeev A.I., Ermilov V.V., Potapov E.E., Wolf V.G. Composites based on polyethylene and keratin hydrolysate [Kompozity na osnove polietilena i gidrolizata keratina]. Chemical physics. 2018. Vol. 37, No. 4. Pp. 91–99. (rus)

16. Khachaturov A.A., Potapov E.E., Fionov A.S., Kolesov V.V., Prut E.V. Functional elastomeric materials based on styrene butadiene rubbers and magnetite [Funktsional'nye elastomernye materialy na osnove butadien-stirolnykh kauchukov i magnetite]. Proceedings of the VIII All-Russian Conference "Rubber and Rubber 2018: Traditions and Innovations", April 25-26, Moscow, Expocenter, 64 p. (rus)

17. Komova N.N., Potapov E.E., Erastov I.K. Electrophysical properties of polychloroprene filled with schungite [Elektrofizicheskie svoystva polihloroprena, napolnennogo shungitom]. Proceedings of the VIII All-Russian Conference "Rubber and Rubber 2018: Traditions and Innovations", April 25-26, Moscow, Expocenter, 75 p. (rus)

18. Chan Huu Than, A.P. Rakhmatullina, V.E. Proskurina, Yu.G. Galyametdinov, E.E. Potapov. Modification of synthetic isoprene rubber with protein-lipid complexes [Modifikatsiya sinteticheskogo izoprenovogo kauchuka belkovo-lipidnymi kompleksami]. Proceedings of the VIII All-Russian Conference "Rubber and Rubber 2018: Traditions and Innovations", April 25-26, Moscow, Expocenter, p. 71(rus)

19. Khanin M.V., Zaitsev G.P. Wear and destruction of polymer composite materials [Iznashivanie i razrushenie polimernykh kompozitsionnykh materialov]. M.: Chemistry, 2009. 256 p.(rus)

20. Bobrov A.P., Kablov W.F., Smal V.A. Study of the abrasive activity of natural carbon-containing mineral Compound ingredients of Polymer composites. Interm. Polym. Sci. and Technol. 2015. Vol. 42, No. 9. Pp. 68–71.

Information about the authors

Klyuchnikova, Natalya V. PhD, Associate professor. E-mail: 4494.55@vmail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Urvanov, Kirill A. Student. E-mail: zerstoren575@gmail.com Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Piskareva, Anastasia O. Student of the Department of Theoretical and Applied Chemistry E-mail: a.burdasova@inbox.ru Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova, d. 46.

Gordeev, Semyon A. Student. E-mail: lie_to_me_house@mail.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov, Russia, 308012, Belgorod, ul. Kostyukova, d. 46.

Genov Ivan. Director. E-mail: office@sciencebg.net. Bulgaria, Bourgas, Str. Oborishche, 21.

Received in October 2019

Для цитирования:

Ключникова Н.В., Пискарева А.О., Урванов К.А., Гордеев С.А., Генов 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

For citation:

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. No. 2. Pp. 96–105. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-2-96-105