Полученные результаты показывают, межфазное натяжение гелеобразующих композиций на основе гидросиликата натрия на границе с моделью нефти изменяется в диапазоне 1,78–2,17 мН/м, что значительно ниже значения для водопроводной воды (20,53 мН/м). Это свидетельствует о высокой поверхностной активности разработанных гелеобразующих композиций и их способности к нефтеотмыву вне зависимости от состава воды затворения.

Таким образом, экспериментально показано: повышенное содержание ионов магния и кальция в воде существенно влияет на процессы гелеобразования потокоотклоняющих композиций. При использовании воды для приготовления гелеобразующих композиций необходимо контролировать общее содержание ионов магния и кальция – не более 0,15 г/л. Применение нитрилотриметилфосфоновой кислоты в качестве модификатора раствора силиката натрия, обеспечивающего агрегативную устойчивость композиции, позволяет снизить чувствительность гелеобразующего связующего к концентрации содержащихся в составе воды затворения катионов жесткости и использовать в составе композиции техническую воду с содержанием 1,00 г/л катионов магния и кальция.

Список литературы

1 **Кудина, Е. Ф.** Гелеобразующие технологии и материалы водоизоляционного назначения на основе водорастворимых силикатов (обзор) / Е. Ф. Кудина, Г. Г. Печерский, В. М. Шаповалов // Материалы, технологии, инструменты. – 2010. – Т. 15, № 4. – С. 62–74.

2 **Pechersky, G. G.** Multifunctional Hybrid Organosilicate Materials Prepared by the Sol-Gel Method / G. G. Pechersky, H. F. Kudina // Glass Physics and Chemistry. – 2011. – Vol. 37, № 6. – P. 583–589.

3 Влияние химического состава воды затворения на процессы гелеобразования неорганического полимера в технологиях увеличения нефтеотдачи / А. В. Антусева, Е. Ф. Кудина, Г. Г. Печерский [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 3. – С. 33–38.

УДК 621.763-036.742

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Е. Ф. КУДИНА, К. В. ЕФИМЧИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, efimby@mail.ru

Актуальность. Одной из ключевых проблем является поиск оптимального сочетания полиолефинов и дисперсных компонентов – наполнителей, которые способны превратить обычный пластик в материал с заданными свойствами [1], а также изготовление изделий из разработанных материалов

с минимальным нанесением вреда экологии в процессе всего жизненного цикла изделия и в процессе его последующего рециклинга [2].

В рамках настоящей работы проводится анализ изменения твердости полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД), в зависимости от изменения содержания дисперсного шунгита.

Использование шунгита в качестве дисперсного наполнителя для ПКМ вызывает интерес в связи с особенностями строения и химической структуры, невысокой стоимостью, экологической безопасностью, природным происхождением, а также биполярностью высокодисперсных частиц, что позволяет использовать его в качестве активного наполнителя для термопластов.

Цель работы. Разработка современных ПКМ на основе матрицы из полиэтилена высокого давления и диспергированного в ней шунгита, анализ твердости разработанного материала.

Основные результаты. В качестве связующего материала для композита выбран дисперсный ПЭВД марки 16803-070. ПЭВД относится к категории термопластичных полимеров, поэтому может многократно размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении, не разрушаясь. В качестве наполнителя – шунгит. Шунгит – природный материал, содержащий углерод в виде фрагментов фуллереноподобных структур.

Для получения однородного материала шунгит подвергали предварительной обработке, которая включала следующие этапы: измельчение, просеивание и термическую обработку. Измельчение шунгита проводили в шаровой мельнице в течение 2 часов при скорости вращения 60 об/мин. Измельчение позволило получить частицы шунгита с необходимым размером, обеспечивающим равномерное распределение наполнителя в полимерной матрице. После измельчения шунгит просеивали через набор сит для удаления неразмолотых частиц и выделения фракции менее 40 мкм. Это необходимо для контроля размера частиц наполнителя и повышения однородности композиционного материала. Следующий этап – термическая обработка, проводившаяся в лабораторном сушильном шкафу СНОЛ-3,5 при температуре 180 °С в течение 60 минут. Целью термической обработки являлось удаление влаги из шунгита и стабилизация структуры, что важно для обеспечения стабильности свойств композиционного материала в процессе эксплуатации. Далее композиции получали путем смешивания шунгита с полимерным материалом в расплаве на лабораторном одношнековом смесителе. Взвешивание компонентов проводили на лабораторных весах M-ER 122 ACFJR. Смешивали компоненты при температуре 110 °С, скорости вращения ротора 70 об/мин, время смешивания составляло 20 минут. Массовое содержание шунгита в композициях варьировали от 0,5 до 50 масс. %.

Визуальный осмотр образцов после смешивания показал, что при увеличении массового содержания шунгита от 40 и более масс. % композиции становятся более темными. Подготовленные смеси композиций помещали в

подготовленную пресс-форму. Форму нагревали до 110 °С в течение 45 минут, обеспечивая равномерное распределение тепла по всей массе материала. После этого композицию прессовали на гидравлическом прессе ПГПР под давлением 25 кН.

Испытание образцов на сжатие проводилось в соответствии с ГОСТ 24261-2015 на кафедре «Водоснабжение, химия и экология» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» на твердомере (дюрометре) по Шору типа ТВР-DM. На рисунке 1 представлен твердомер перед проверкой на мерах прочности, а также при испытании образцов на твердость.

а) *б*)

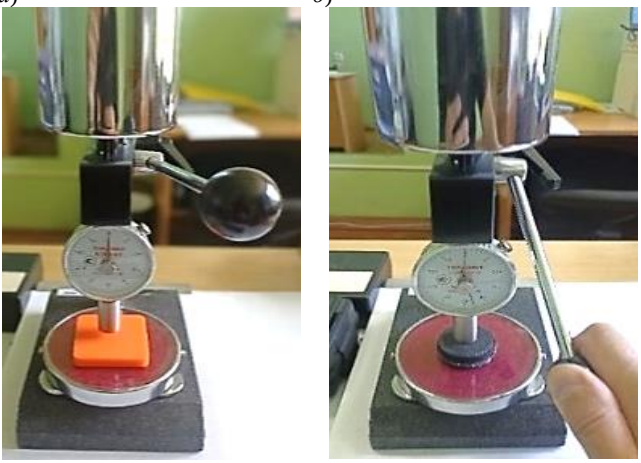


Рисунок 1 – Твердомер типа ТВР-DM:
а – перед проверкой на мерах прочности; *б* – при испытании образца на твердость

Оценка полученных результатов позволяет сделать вывод, что при введении шунгита в количестве от 5 до 15 масс. % твердость композиции меняется незначительно. При увеличении содержания шунгита в композиции от 20 до 35 масс. % твердость возрастает до 21 %. Введение наполнителя более 40 масс. % практически не влияет на твердость исходного полимера, поэтому повышение концентрации наполнителя более 40 масс. % нецелесообразно.

Зависимость твердости композита от концентрации шунгита для композиций с массовым содержанием дисперсного шунгита от 5 до 50 масс. % представлена на рисунке 2.

Анализ полученных данных показал, что максимальная твердость композита достигается при содержании наполнителя в количестве 30 масс. %. Тем не менее, с повышением концентрации шунгита образец становится пористым.

В целях анализа и оценки изменения свойств композита после рециклинга, разрушенные образцы с наполнителем в количестве от 20 до 35 масс. % были подвергнуты вторичной переработке.



Рисунок 2 – Зависимость твердости композита от концентрации шунгита

Анализ зависимости изменения твёрдости (D) в исходной наполненной композиции ($D_и$) и композиции после рециклинга ($D_р$) с содержанием шунгита в количестве от 20 до 35 масс. % представлен в таблице 1.

Таблица 1 – **Зависимость твердости композиции после рециклинга от концентрации шунгита**

Концентрация шунгита, масс. %	Твердость по Шору		$\frac{D_р - D_и}{D_и} \cdot 100$, %
	Исходная композиция $D_и$	Композиция после рециклинга $D_р$	
20	51	49	– 3,9
25	51	50	– 1,9
30	54	52	– 3,7
35	50	48	– 4

Оценка результатов изменения твердости показала, что твердость разрабатываемого материала после вторичной переработки уменьшилась не более чем на 4 %. Следовательно, шунгит может применяться для увеличения твердости композитов на основе полиэтилена высокого давления, которые могут быть подвержены рециклингу практически без уменьшения прочности.

Выводы. Оценка полученных экспериментальных данных показала, что к повышению твердости ПЭВД приводит диспергирование в объеме полимерной матрицы дисперсного шунгита в количестве от 20 до 35 мас. %. При оптимальном соотношении шунгита и ПЭВД можно получить композиционные материалы с повышением твердости до 21 %.

Важно отметить, что увеличение содержания шунгита более 35 мас. % может привести к снижению прочности материала. Это связано с тем, что при значительном количестве наполнителя нарушается однородность структуры композита и увеличивается вероятность образования микротрещин, которые могут стать центрами разрушения.

Список литературы

1 **Кудина, Е.Ф.** Методы утилизации и рециклинга полимерных композиционных материалов / Е. Ф. Кудина, К. В. Ефимчик // Полимерные материалы и технологии. – 2022. – Т. 8, № 4. – С. 77–86.

2 **Шаповалов, В. М.** Рециклинг и утилизация многокомпонентных полимерных систем на основе вторичных термопластов (обзор) / В. М. Шаповалов, А. Я. Григорьев // Полимерные материалы и технологии. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 6–19.

УДК 628.16

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. Н. МАКЕЕВА, М. В. МУРАВЬЕВА
Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь, volkova_katerina@gstu.by

Состав поверхностных вод определяется совокупным влиянием физико-географических факторов и антропогенной нагрузки. Основными источниками загрязнения реки выступают хозяйственно-бытовые стоки, промышленные и ливневые воды с территорий населённых пунктов и отдельных сельскохозяйственных объектов.

Результаты анализа исходной воды помогают выявить отклонения её качества от нормативных значений и определить подходящую схему очистки. Следует учитывать, что показатели качества воды в источнике подвержены сезонным колебаниям. В связи с этим единичное лабораторное исследование не может считаться достаточным для комплексной оценки водоисточника: оно не отражает максимально возможных концентраций отдельных компонентов, которые необходимо принимать во внимание при выполнении расчётов [1].

Цель работы. Анализ сезонных изменений ключевых показателей качества воды в источниках водоснабжения города Гомеля и Гомельской области и установление их роли в выборе технологии химической очистки воды.

В соответствии с целью исследования в работе решались следующие задачи: