

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-3.321>

УДК 502.55:628.192

СОРБЦИЯ И УДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТАМ

Жукалов В.И., Гольдаде В.А., Зотов С.В.

Цель. Исследование влияния электризации полимерных волокнисто-пористых материалов на сорбцию нефти и нефтепродуктов.

Методы. Пневмоэкструзия полипропилена марки Borealis. Электризация образцов в поле коронного разряда положительной и отрицательной полярности напряженностью 25 кВ/см. Обработка образцов в низкотемпературной кислородной плазме тлеющего разряда с частотой 35 кГц. Весовой метод определения сорбционных характеристик. Метод растровой электронной микроскопии. Метод электретно-термического анализа.

Результаты. Установлена зависимость сорбционных параметров материалов из полипропилена от вида физического модифицирования – коронного разряда различной полярности и низкотемпературной плазмы тлеющего разряда. Показано, что модифицирование в поле коронного разряда для придания электретных свойств несколько снижает сорбционные характеристики данных материалов по отношению к нефти. При изготовлении сорбционных материалов для сбора сырой нефти следует применять немодифицированный волокнисто-пористый полипропилен. Экспериментально установлено, что при изготовлении сорбционных материалов для сбора легких фракций нефти предпочтительным является метод модифицирования волокон в поле коронного разряда отрицательной полярности. Электризация оказывает значительное влияние на процессы сорбции волокнами ее липофильных компонентов. Предлагается физическая модель сорбции нефтепродуктов электретными образцами полимерных волокнисто-пористых материалов.

Область применения исследований. Волокнисто-пористые полимерные материалы, подвергнутые физическому модифицированию с формированием электретного состояния, могут быть использованы для сорбции некоторых фракций нефти, фильтрации жидкостей от загрязнений диэлектрической природы, очистки воздуха от содержащей радиоактивные частицы ионизированной пыли, а также разделения биологических жидкостей, содержащих диэлектрические и (или) электретные компоненты.

Ключевые слова: сорбция, нефть, дизельное топливо, коронный разряд, электретное состояние, физическая модель.

(Поступила в редакцию 20 апреля 2021 г.)

Введение

Разливы нефти и нефтепродуктов – один из наиболее опасных вариантов техногенных экологических катастроф. На территории Беларуси водные объекты 214 раз пересекаются трубопроводами нефти и нефтепродуктов. Нарушение условий эксплуатации трубопроводов иногда приводит к их разгерметизации, вызывая впоследствии аварийные ситуации различного масштаба. Так, 23 марта 2007 г. в Бешенковичском районе Витебской области на нефтепроводе Унеча – Вентспилс из-за порыва трубопроводов объем утечки нефти составил более 100 тыс. т, причем в водную систему мелиоративного канала рек Улла и Западная Двина попало около 80 м³ дизельного топлива, а пятно загрязнения дошло до территории Латвии. Также 14 февраля 2008 г. в Речицком районе Гомельской области в результате порыва трубопровода Унеча – Ровно произошел разлив около 70 м³ дизтоплива¹. В мире известны и более крупномасштабные аварии такого рода (Мексиканский залив, Норильск и др.).

¹ Авария трубопровода Унеча – Ровно: в Днепр может вылиться до 400 кубометров топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.tut.by/society/103371.html>. – Дата доступа: 25.02.2021.

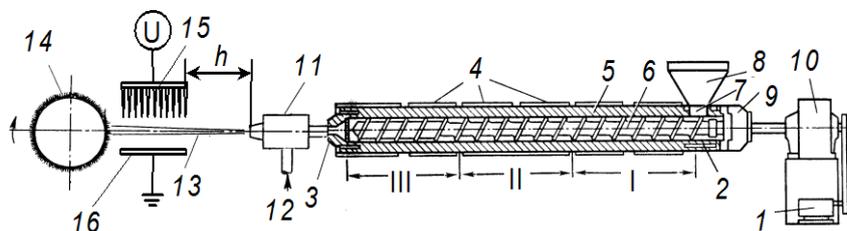
Для борьбы с разливами нефти и нефтепродуктов по поверхности почв и водоемов применяются различные технологии [1–5]. Одним из эффективных методов ликвидации последствий данных разливов является применение специальных сорбционных материалов, в частности волокнисто-пористых [6]. В настоящее время ведутся активные разработки в области создания новых синтетических сорбентов, в максимальной степени отвечающих комплексному критерию «цена/эффективность». Кроме того, разрабатывается оборудование, которое позволяет проводить эффективный сбор нефтепродуктов с водной поверхности и прямо на месте отделять воду от нефти.

Нетканый волокнисто-пористый материал из полипропилена обладает высокой сорбционной способностью по отношению к нефтепродуктам, что обусловлено липофильностью полипропилена и его физико-химическим сродством к углеводородам. Полученные методом пневмоэкструзии (melt blowing) полимерные волокнистые материалы обладают уникальным сочетанием свойств, благодаря чему применяются при фильтровании многофазных сред от загрязнений [7; 8]. К настоящему времени достигнут некоторый предел технологических возможностей по обеспечению уровня свойств этих материалов.

Известно существование в полимерных пневмоэкструзионных материалах явления электрической поляризации за счет интенсивного термоокисления формирующихся волокон. Обработка в физических полях различной интенсивности полипропилена, особенно в вязко-текучем состоянии на этапе формирования melt-blown волокна, усиливает этот процесс, что особенно характерно для поверхностного слоя волокон. Для повышения эффективности осуществляемых посредством этих материалов процессов фильтрования сред и сорбции загрязнений требуется разработка новых технических решений, в том числе связанных с целевым физико-химическим модифицированием волокон. Тем самым увеличение сорбционной способности волокнистых материалов путем их модифицирования различными методами является актуальной задачей.

Методика исследований

Из гранулированного полипропилена (ПП) марки Borealis на пневмоэкструзионной установке (рис. 1) изготавливали волокнисто-пористые melt-blown материалы в виде полотен: исходные, модифицированные на стадии диспергирования расплава в отрицательном и положительном коронном разряде с напряженностью 25 кВ/см, а также обработанные в низкотемпературной кислородной плазме тлеющего разряда с частотой 35 кГц. Варьируемые технологические режимы процесса (температура, давление сжатого воздуха и др.) позволяли получать материалы с диаметром волокон от 5 до 100 мкм.



1 – электродвигатель; 2 – канал для охлаждения зоны бункера; 3 – канал для выхода расплава в профилирующую головку; 4 – нагреватели цилиндра; 5 – цилиндр; 6 – червяк; 7 – загрузочная воронка; 8 – бункер; 9 – упорный подшипник; 10 – редуктор; 11 – распылительная головка; 12 – патрубок подачи сжатого воздуха; 13 – газополимерный поток; 14 – формообразующая оправка. Зоны червяка: I – питания (загрузки); II – сжатия (пластикация); III – выдавливания (дозирования). Зона электризации: 15 – высоковольтный электрод; 16 – заземленный электрод

Рисунок 1. – Схема технологического процесса melt blowing

Пористую структуру образцов (рис. 2) изучали методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе VEGA II LSH Tescan. При экспериментах по сорбции использовали образцы квадратной формы размерами 50×50 мм и толщиной 8–10 мм, одновременно

помещаемые в емкости с нефтью. Также для оценки сорбционной и удерживающей способности материала в качестве сорбируемой жидкости использовали дизельное топливо марки ДТ-Л-К5, причем образцы размерами 110×20×10 мм выдерживали в течение 10 мин в емкости с дизельным топливом для заполнения пор образца и удаления пузырьков воздуха, после чего заполненный жидкостью образец подвешивали на штативе, установленном на соединенных с компьютером весах (рис. 3), и измеряли изменяющуюся массу образца. Для изучения поляризационных эффектов, возникших вследствие физического модифицирования волокнисто-пористого материала, использовали метод электротно-термического анализа [9] с регистрацией спектров термостимулированных токов (ТСТ).

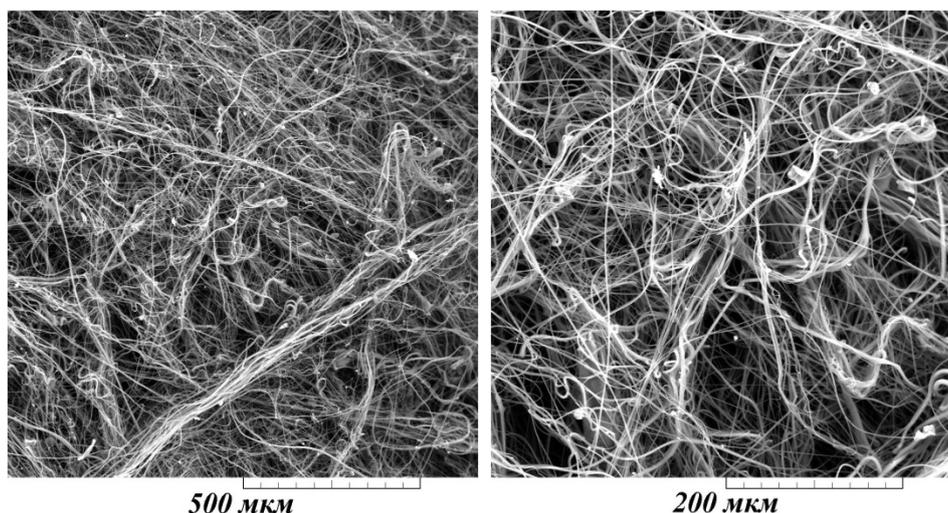
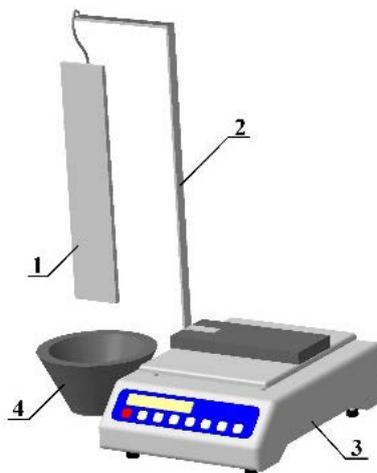


Рисунок 2. – Микрофотографии образца волокнисто-пористого материала из ПП, полученного методом пневмоэкструзии



1 – испытуемый образец материала; 2 – штатив; 3 – электронные веса, подключенные к компьютеру; 4 – емкость с дизельным топливом

Рисунок 3. – Схема испытательного стенда

Основная часть

1. Сорбция нефти. Проведенные ранее исследования показали, что наличие в структуре материала большого количества пор позволяет повысить сорбционную емкость и удерживающую способность. Жесткое полотно волокнистого материала из полипропилена с диаметром волокна 70–100 мкм не способно впитать нефти больше, чем объем порового пространства, образованного хаотичным переплетением когезионно скрепленных волокон. В слое нефти на воде толщиной больше толщины материала полное насыщение образца происходит за 3–5 с. Удерживающая способность остается сравнительно низкой – при извлечении образца из емкости нефть частично вытекает, образуя небольшую лужицу (рис. 4а). При

помещении образца на воду с тонким слоем нефти одновременно с нефтью в поровое пространство материала проникает вода. На поверхности чистой воды материал не тонет, частично погружается в зависимости от веса, а при извлечении образца наблюдается стекание с него воды. Естественная способность материала удерживать нефть в поровом пространстве оказывается недостаточной из-за низкого капиллярного эффекта, обусловленного значительными расстояниями между волокнами, что, в свою очередь, определяется сочетанием их диаметра и плотности упаковки. На значительном количестве образцов экспериментально установлено, что поровое пространство материала заполняется нефтью практически полностью, но в случае, когда полотно построено из жестких и более толстых волокон ПП, предпосылок для дальнейшего увеличения сорбционной способности не наблюдается и набухания не происходит. Стоит отметить также возникающие проблемы при регенерации: для очистки от нефти сорбционных изделий из жесткого волокнисто-пористого полотна потребуются проводить центрифугирование, что значительно сложнее, чем простой отжим [10].

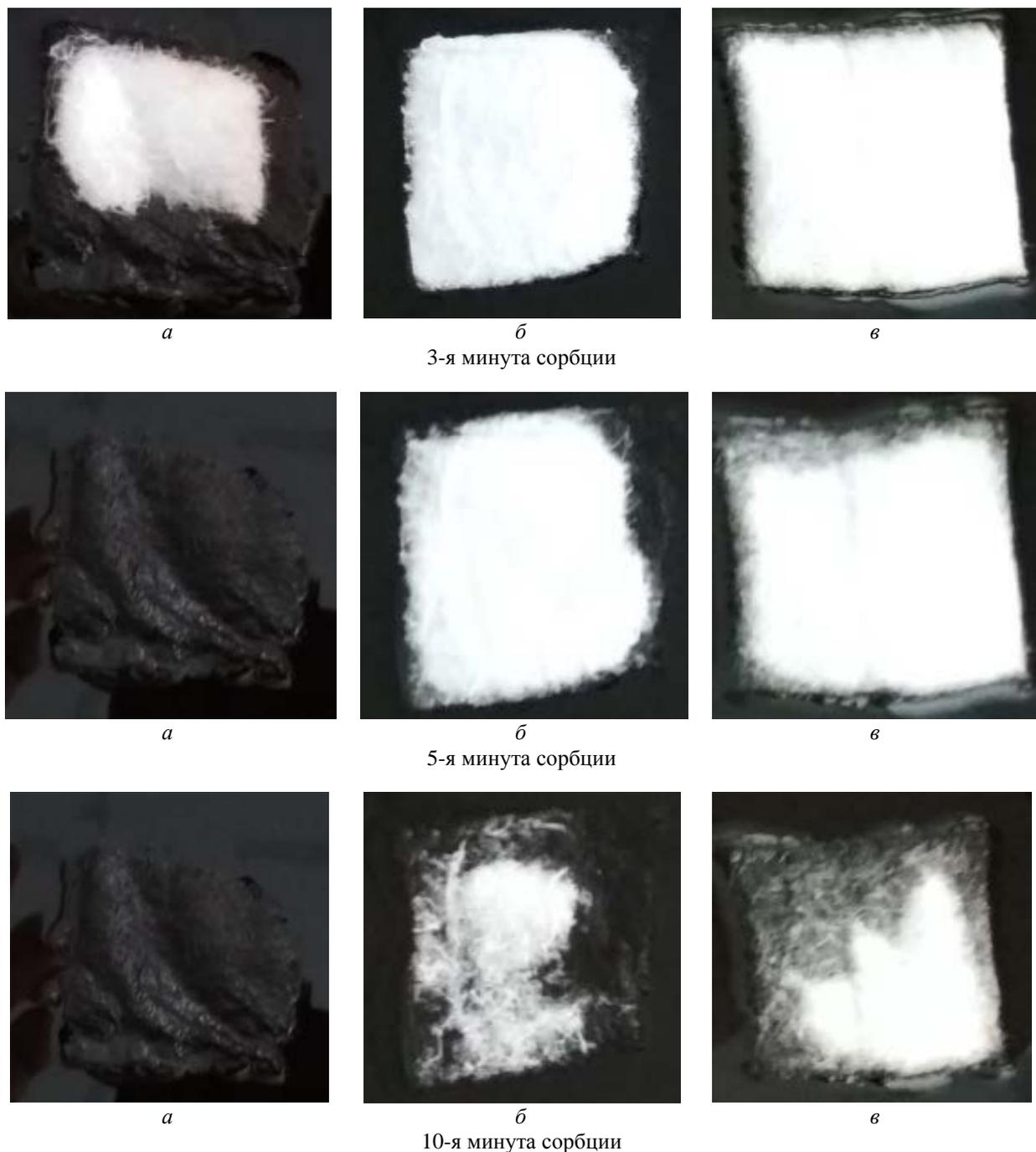


Рисунок 4. – Снимки извлеченных из нефти образцов полимерного волокнистого материала с диаметром волокон 70–100 мкм (а) и около 5 мкм (б)

Волокнисто-пористый материал из ПП с диаметром волокна около 5 мкм имеет отличительные особенности. Время практически полного насыщения образца нефтью составляет 3–5 мин, при этом образец увеличивается в объеме, а при извлечении демонстрирует высокую сорбционную и удерживающую способность (рис. 4б). Наличие открытой мелкопористой структуры способствует эффективной сорбции нефти за счет проявления капиллярного эффекта. Повторное применение такого материала вполне возможно после процесса отжима или центрифугирования (в зависимости от требуемого качества очистки материала) [5]. При сборе тонкого слоя нефти с поверхности воды образец такого материала не впитывает воду, на поверхности чистой воды не тонет. При принудительном погружении образцов под воду их поверхность, не смачиваясь, приобретает серебристый оттенок, что косвенно свидетельствует о ярко выраженной гидрофобности материала. После извлечения из воды вес образцов не увеличивается.

Исходя из полученных данных можно сделать промежуточный вывод о перспективности использования материала из ПП с диаметром волокна около 5 мкм по таким технико-экономическим показателям, как эффективность сорбции нефти и возможность его повторного применения.

Следующая серия экспериментов позволила оценить влияние электризации волокнисто-пористого материала из ПП на его сорбционные характеристики. Из рисунка 5 видно, что скорость впитывания нефти образцами с дополнительно иницированным положительным и отрицательным зарядами ниже, по сравнению с неэлектризованным образцом. На пятой минуте нефть практически полностью пропитала волокна образца исходного материала, в то время как электризованные образцы оказались еще не полностью пропитаны.

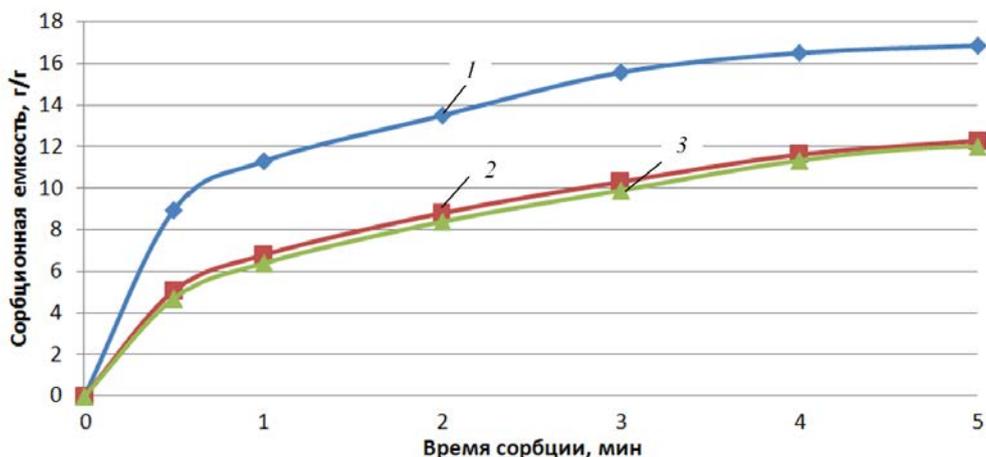


a – образец исходного материала без заряда; *б* – образец материала с отрицательным зарядом; *в* – образец материала с положительным зарядом

Рисунок 5. – Фотоснимки результатов сорбции нефти

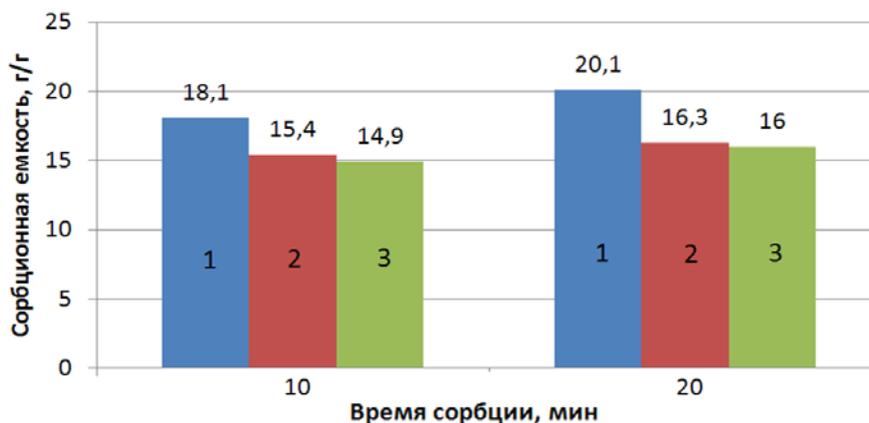
Величина сорбции нефти образцами волокнистого материала за 5 мин представлена в виде графиков на рисунке 6. Видно, что значительное впитывание нефти поровым пространством материала происходит в первые 30–40 с после погружения образцов, а затем количество адсорбированной нефти прекращает увеличиваться. Результаты сорбции нефти образцами за 10 и 20 мин приведены на рисунке 7. Из результатов взвешивания видно, что волокнистый материал без заряда имеет сорбционную емкость на 15–25 % больше, чем материалы с отрицательным и положительным зарядами. После извлечения образцов из емкости с нефтью на поверхности образца без заряда присутствует небольшое количество нефти, образец приобретает слегка утолщенную форму. На поверхности образцов с положительным

и отрицательными зарядами нефть не выступает, что может свидетельствовать о влиянии заряда волокон на особенности капиллярных процессов, в которых участвует нефть. Проведенный эксперимент позволил выявить и проиллюстрировать новую гипотетическую возможность – комбинируя зарядовое состояние волокон, управлять в требуемом направлении капиллярными эффектами в исследуемой волокнисто-пористой системе.



1 – образец исходного материала без заряда; 2 – образец материала с отрицательным зарядом;
3 – образец материала с положительным зарядом

Рисунок 6. – Зависимость сорбционной емкости образцов волокнисто-пористого материала из ПП от времени сорбции



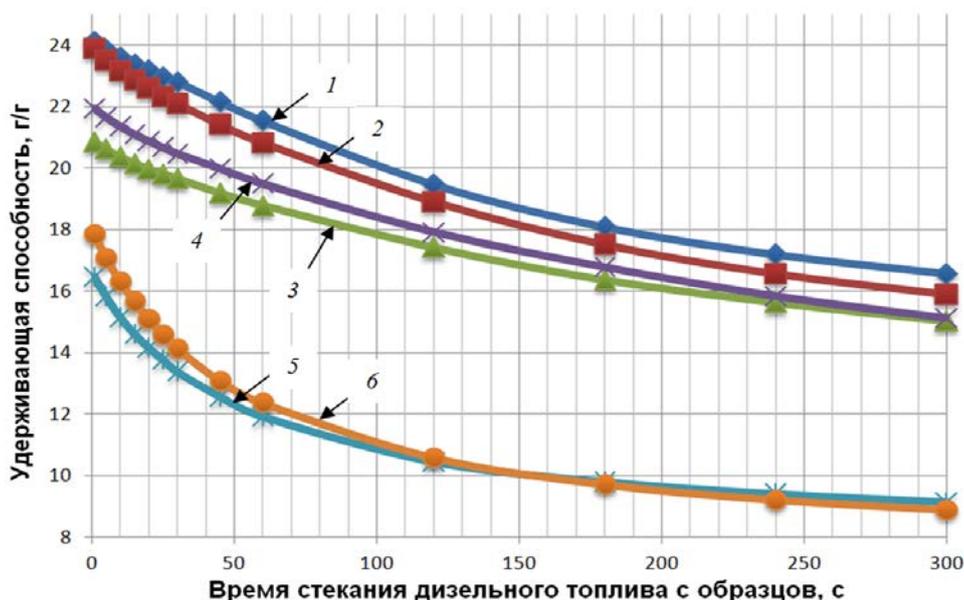
1 – образец исходного материала, без заряда; 2 – образец материала с отрицательным зарядом;
3 – образец материала с положительным зарядом

Рисунок 7. – Сорбционная емкость образцов за 10 и 20 минут сорбции

На основании приведенных результатов можно сделать практический вывод, что модифицирование волокнисто-пористых материалов в поле коронного разряда для придания им электретных свойств несколько снижает сорбционные характеристики этих материалов по отношению к нефти, ввиду чего для сбора сырой нефти предпочтительнее применять исходный волокнисто-пористый материал из ПП.

2. Сорбция дизельного топлива. В отличие от нефти и ее тяжелых фракций легкие углеводородные фракции проникают в поровое пространство волокнисто-пористого материала достаточно быстро. Для оценки взаимосвязи поляризационных эффектов в волокнах и проведения сравнительного анализа сорбционной и удерживающей способностей материала по отношению к фракциям нефти в качестве сорбирующей жидкости использовали дизельное топливо марки ДТ-Л-К5.

Визуально наполнение порового пространства материала топливом происходило одновременно с его погружением, но последующий выход из образцов пузырей воздуха свидетельствовал о необходимости некоторой выдержки материала в емкости перед его последующим взвешиванием и оценкой скорости стекания топлива из образцов. На рисунке 8 начальные значения на кривых соответствуют сорбционной способности материала. Из представленных графиков видно, что наилучшей сорбционной и удерживающей способностью по отношению к дизельному топливу обладает образец 1 полимерного волокнисто-пористого материала из ПП, модифицированный в поле отрицательного коронного разряда. Образец 3, обработанный положительным коронным разрядом, немного уступает первому по величине сорбции (соответственно 21 и 24 г/г). Образец 5 исходного материала обладает наименьшей величиной сорбции (около 17 г/г), и из его порового пространства достаточно быстро (примерно в первые 30–50 с) стекает дизельное топливо, в отличие от образцов 1 и 3, из которых стекание топлива происходит медленнее. Дополнительная обработка в низкотемпературной плазме (образцы 2, 4, 6) практически не влияет на сорбционную способность. Выявленные зависимости снижения веса у образцов 1–4 могут свидетельствовать о влиянии поляризации на увеличение удерживающей способности. Об этом же свидетельствует увеличение сорбции образцов, обработанных в коронном разряде, по сравнению с необработанными (до 46 %).



1 – образец, сформированный в поле отрицательного разряда; 2 – образец, сформированный в поле отрицательного разряда и обработанный в плазме; 3 – образец, сформированный в поле положительного разряда; 4 – образец, сформированный в поле положительного разряда и обработанный в плазме; 5 – исходный волокнисто-пористый материал; 6 – исходный волокнисто-пористый материал, обработанный в плазме
Рисунок 8. – Зависимость удерживающей способности образцов волокнисто-пористого материала из ПП по дизельному топливу от времени его стекания

Таким образом, метод модифицирования волокнисто-пористых материалов в поле отрицательного коронного разряда является предпочтительным при изготовлении сорбционных материалов для сбора легких фракций нефти.

3. О механизмах, ответственных за поляризационные эффекты в волокнах. В пневмоэкструзионных волокнисто-пористых полимерных материалах, модифицированных путем обработки в электрическом поле, возникает многоуровневая сорбционно-фильтрующая среда с комбинацией различных факторов, включая ситовый эффект, капиллярные процессы и влияние физических полей. В результате этого воздействия сорбат с большей вероятностью удерживается волокнисто-пористой системой, которая становится одновременно фильтром (по отношению к фильтруемой очищаемой среде) и сорбентом (по отношению к загряз-

нению). Актуальным представляется исследование закономерностей достигаемой в физических полях электрической поляризации в волокнах, которая оказывает значительное влияние как на процессы капиллярного проникновения жидкостей в межволоконную среду, так и сорбции волокнами ее липофильных компонентов.

Известно существование в полимерных пневмоэкструзионных материалах спонтанной электрической поляризации за счет интенсивного термоокисления формирующихся волокон [11; 12]. Обработка последних в физических полях усиливает это явление [13], что особенно ярко проявляется в окисленном поверхностном слое волокон, содержащем значительное количество полярных функциональных групп. На рисунке 9 приведены спектры ТСТ, которые иллюстрируют специфическую картину термически стимулированной депольризации таких образцов. Анализ спектров ТСТ позволяет установить, как тот или иной прием модифицирования волокон влияет на возникающее при пневмоэкструзии электретенное состояние в волокнах и на характер релаксации заряда в них.

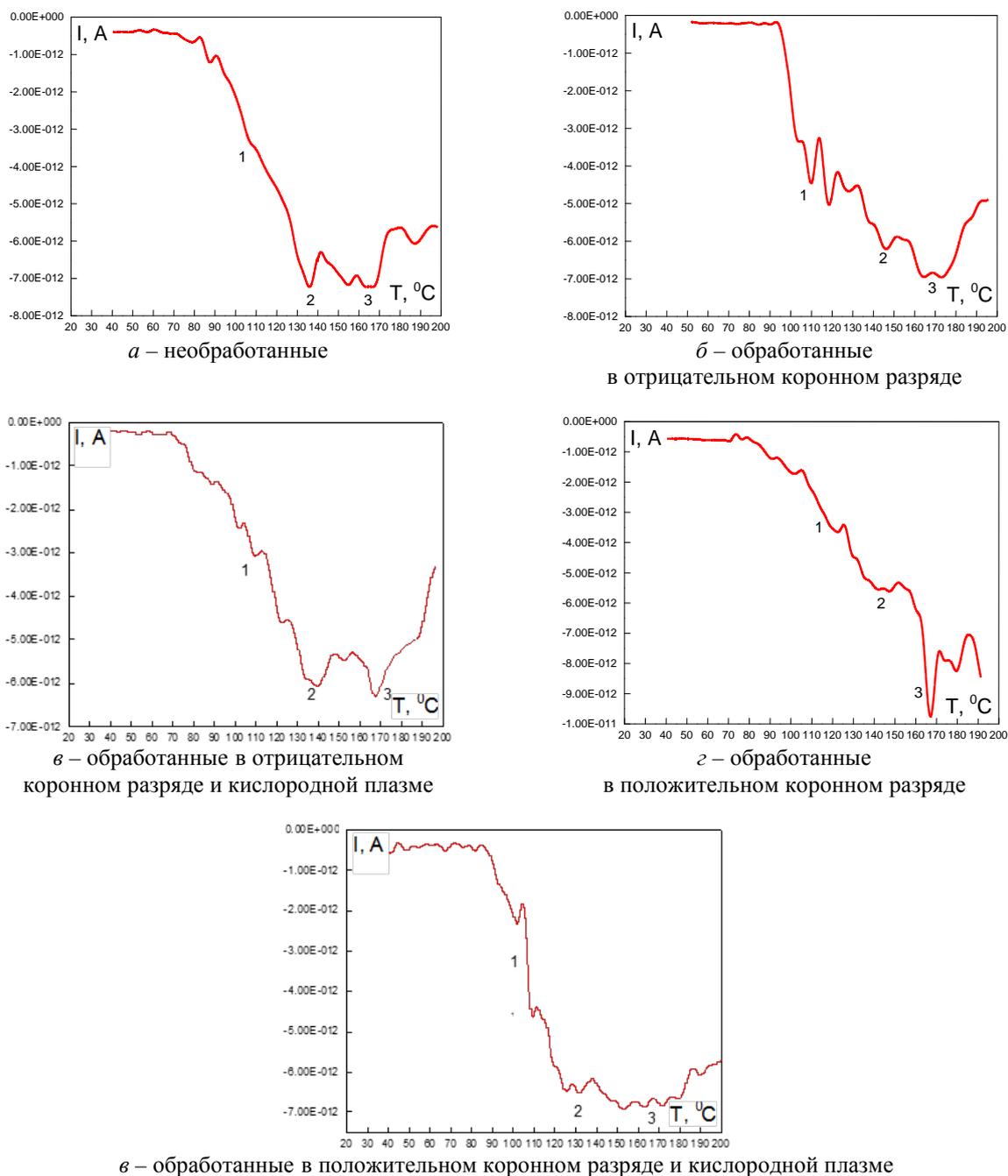


Рисунок 9. – Спектры ТСТ пневмоэкструзионных волокон ПШ

В необработанных волокнах ПП, обладающих технологическим зарядом (рис. 9а), процесс деполяризации происходит плавно, экстремумы 2 и 3 соизмеримы по величине. Деполяризация в волокнах, обработанных в отрицательном коронном разряде (рис. 9б), происходит ступенчато с возникновением на спектре ТСТ экстремумов разной величины. В спектрах образцов, обработанных в отрицательном коронном разряде и кислородной плазме (рис. 9в), экстремумы 1 снижены, пики 2 и 3 снова соизмеримы. В спектрах волокон, обработанных в положительном коронном разряде (рис. 9г), пик 2 выражен слабо, а дополнительная обработка в кислородной плазме (рис. 9д) вновь приводит к выравниванию пиков 2 и 3. В температурном диапазоне до 100 °С токовых пиков, соответствующих высвобождению заряда, не наблюдается. Однако после 100 °С происходит медленный ступенчатый рост величины тока отрицательной полярности, который имеет максимум величиной 5–7 пА около 150 °С, т.е. на 15 °С ниже температуры плавления кристаллической фазы ПП (165 °С). Достижение температуры плавления, в свою очередь, также сопровождается близким по интенсивности токовым пиком. Экстремумы на кривых соответствуют температурам, при которых происходит релаксация электретного заряда из энергетических ловушек. Эти ловушки различаются по энергии, поскольку сформированы разными электрически активными объектами (диполи, кислородсодержащие группы, инжесктированные носители заряда и др.). По факту наличия нескольких пиков на спектрах ТСТ можно интерпретировать последовательность происходящих процессов деполяризации:

1) ступенчатая релаксация зарядов, связанных с окисленными группами поверхностного слоя; полярные кислородсодержащие группы (преимущественно карбонильные) возникают при термоокислительной деструкции ПП волокон в вязко-текучем состоянии, причем при затвердевании волокна образуется своеобразный окисленный поверхностный слой с повышенным содержанием таких групп [7; 8];

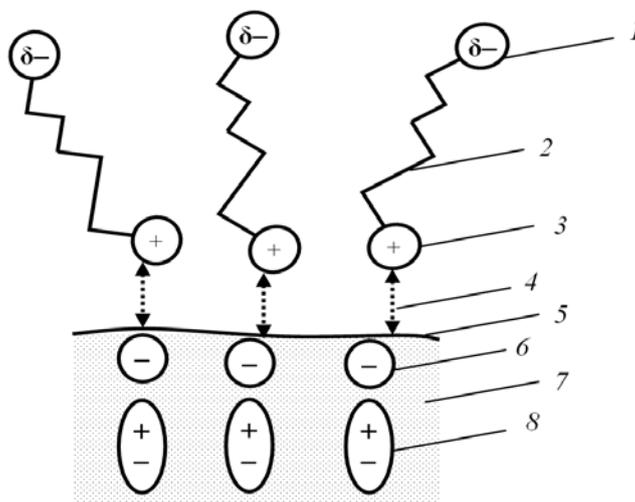
2) экстремальное завершение этой релаксации;

3) релаксация всех оставшихся зарядов при температурах выше температуры плавления ПП.

Таким образом, спектры ТСТ волокон, подвергнутых разным видам физического модифицирования, основные отличия демонстрируют в количестве локальных экстремумов процесса 1 и в сравнительной величине пиков 2 и 3. Следовательно, характер и интенсивность физического модифицирования специфически влияют на перераспределение зарядов в окисленном поверхностном слое волокон ПП.

Предложена физическая модель происходящих процессов, основанная на нижеследующих представлениях. Электретный заряд, существующий в различных формах, будет особым образом реагировать на любые поляризующиеся (диэлектрические) объекты. Один из вероятных механизмов, ответственных за выявленные эффекты, – стимулированное физическими полями перемещение электрических зарядов между энергетическими состояниями с формированием поляризованных структур различного типа. Деполяризация последних при нагреве волокон происходит ступенчато, а для зарядов, которые смогли локализоваться преимущественно в некристаллической фазе полимера, завершается до достижения температуры плавления кристаллической фазы полипропилена. Кроме того, в зависимости от своего молекулярного строения входящие в состав нефтепродуктов углеводороды, по-видимому, могут иметь неравномерное распределение электронной плотности по молекуле. Благодаря этому данные молекулы будут склонны взаимодействовать преимущественно с участками волокон, несущих заряд определенного знака, и сорбироваться ими. В частности, углеводороды, содержащие ароматические фрагменты или полярные функциональные группы, имеют следующее преимущественное распределение электронной плотности по молекуле: δ^- – на участках с повышенной электронной плотностью и δ^+ с пониженной. Алифатические фрагменты молекул углеводородов, во-первых, обладают повышенной подвижностью и, во-вторых, обычно несут δ^+ в сравнении с неалифатическими (например, ароматическими) фрагментами. Поэтому такие углеводороды более склонны к преимущественной сорбции

подвижными «концами» на отрицательно заряженных участках волокон. Эти участки содержат гомозаряд отрицательной полярности, сформированный посредством инъекции электронов в полимер при отрицательном коронном разряде. Это объясняет несколько более высокую сорбционную способность волокон, полученных в условиях воздействия отрицательного коронного разряда – у них реализуется преимущественное взаимодействие с легкими фракциями. Предполагаемая схема вышеописанных взаимодействий приведена на рисунке 10.



1 – фрагмент молекулы углеводорода с преимущественно отрицательным зарядом; 2 – условная углеводородная цепочка; 3 – фрагмент молекулы углеводорода с преимущественно положительным зарядом; 4 – адсорбционные силы, удерживающие сорбированную молекулу на поверхности волокна 5; 6 – зоны локализации электрета отрицательной полярности; 7 – объем волокна; 8 – зоны локализации гетерозаряда полимерного волокна

Рисунок 10. – Схема взаимодействий в системе волокно – углеводороды с неравномерным распределением электронной плотности

Заключение

При формировании волокнистых материалов из ПП методом melt-blowing именно электризация волокон (в частности, в коронном разряде различной полярности) оказывает значительное влияние на их сорбционные свойства. Изменения касаются в основном процессов сорбции липофильными волокнами органических компонентов сорбируемых жидкостей. Предложенная физическая модель сорбции нефтепродуктов электретами образцами полимерных волокнисто-пористых материалов предполагает наличие электростатического взаимодействия между молекулами углеводородов, имеющими различные подвижность и распределение электронной плотности, с участками волокон, на которых сформирован электретный заряд положительной или отрицательной полярности.

Практическая значимость волокнисто-пористых электретных материалов не ограничивается эффективной сорбцией некоторых фракций нефти. Такие материалы широко используются в инженерной экологии (фильтрация жидкостей от некоторых загрязнений диэлектрической природы [13] и фильтрация воздуха [14; 15]). Следует ожидать расширения областей применения подобных волокнисто-пористых систем в технике.

Работа выполнена в рамках задания 6.52 ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Полимерные материалы и технологии», и в рамках темы 4.2.2 (НИР 2) задания Государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов, Н.А. Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Н.А. Самойлов, Р.В. Хлесткин, А.В. Шеметов. – М.: Химия, 2001. – 189 с.

2. Radetic, M.M. Recycled wool-based nonwoven material as an oil sorbent / M.M. Radetic [et al.] // *Environmental Science & Technology*. – 2003. – Vol. 37, No 5. – P. 1008–1012. DOI: 10.1021/es0201303.
3. Чикина, Н.С. Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов с использованием сорбента на основе пенополиуретана и отходов зерновых культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16 / Н.С. Чикина. – Казань, 2010. – 20 с.
4. Собгайда, Н.А. Новые углеродные сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов / Н.А. Собгайда, А.И. Финаенов // *Экология и промышленность России*. – 2005. – № 12. – С. 8–10.
5. Сироткина, Е.Е. Материалы для адсорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов / Е.Е. Сироткина, Л.Ю. Новоселова // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2005. – № 3. – С. 359–377.
6. Goldade, V.A. Fibrous sorbents for gathering of oil and petroleum products / V.A. Goldade, V.I. Zhukolov, S.V. Zotov // *International Scientific Journal Theoretical & Applied Science*. – 2018. – No. 6 (62). – P. 139–149. DOI: 10.15863/TAS.2018.06.62.26.
7. Гольдаде, В.А. Полимерные волокнистые melt-blown материалы / В.А. Гольдаде [и др.]. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2000. – 260 с.
8. Pinchuk, L.S. Melt Blowing: Equipment, Technology, and Polymer Fibrous Materials / L.S. Pinchuk, V.A. Goldade, A.V. Makarevich, V.N. Kestelman. – Springer-Verlag: Berlin-Heidelberg-New York, 2002. – 224 p.
9. Луцейкин, Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров / Г.А. Луцейкин. – М.: Химия, 1988. – 160 с.
10. Фонарева, К.А. Сорбция нефтепродуктов полиэтилентерефталатным волокном и его регенерация центробежным способом: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / К.А. Фонарева. – Ижевск, 2017. – 158 с.
11. Goldade, V.A. On the mechanism of charge storage in melt-blown fibrous polymer materials / V.A. Goldade, L.S. Pinchuk, S.V. Zotov, A.G. Kravtsov, A.A. Rychkov // *Proceedings of the 3-rd International Conference on advances in processing, testing and application of dielectric materials (APTADM-2007)*, Wroclaw, Poland, 2007. – P. 185–190.
12. Pinchuk, L.S. Spontaneous polarization of polymer blends / L.S. Pinchuk, V.A. Goldade, A.G. Kravtsov, S.V. Zotov, B. Jurkowski, K. Kelar // *Polymer*. – 2003. – Vol. 44, Iss. 17. – P. 5031–5037. DOI: 10.1016/S0032-3861(03)00375-6.
13. Кравцов, А.Г. Электрические и магнитные поля в полимерных волокнистых элементах для тонкой очистки многофазных сред: автореф. ... дис. д-ра техн. наук: 01.04.07 / А.Г. Кравцов. – Гомель, 2007. – 45 с.
14. Петрянов, И.В. Волокнистые фильтрующие материалы ФП / И.В. Петрянов, В.И. Козлов, П.И. Басманов. – М.: Знание, 1963. – 65 с.
15. Кравцов, А.Г. Полимерные электретные фильтроматериалы для защиты органов дыхания / А.Г. Кравцов, В.А. Гольдаде, С.В. Зотов: под ред. Л.С. Пинчука. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2003. – 204 с.

Сорбция и удерживающая способность модифицированных волокнисто-пористых материалов по отношению к нефти и нефтепродуктам

Sorption and retention capacity of modified fibrous-porous materials in relation to oil and petroleum products

Жукалов Владимир Иванович

Гомельский филиал государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра оперативно-тактической деятельности и техники, старший преподаватель

Адрес: пр-т Речицкий, 35А,
246023, г. Гомель, Беларусь
e-mail: jukalov@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9877-7322

Vladimir I. Zhukalov

Gomel Branch of the State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Operational-Tactical Activity and Technical Equipment, Senior Lecturer

Address: av. Rechitskiy, 35A,
246023, Gomel, Belarus
e-mail: jukalov@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9877-7322

Гольдаде Виктор Антонович

доктор технических наук, профессор

Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», кафедра радиофизики и электроники, профессор

Адрес: ул. Советская, 104,
246019, г. Гомель, Беларусь
e-mail: victor.goldade@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7964-8034

Victor A. Goldade

Grand PhD in Technical Sciences, Professor Educational Institution «Francisk Skorina Gomel State University», Chair of Radiophysics and Electronics, Professor

Address: Sovetskaya str., 104,
246019, Gomel, Belarus
e-mail: victor.goldade@gmail.com
ORCID: 0000-0001-7964-8034

Зотов Сергей Валентинович

кандидат технических наук

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси», отдел № 1 «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», ведущий научный сотрудник

Адрес: ул. Кирова, 32а,
246050, г. Гомель, Беларусь
e-mail: zotov-1969@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4480-6503

Sergey V. Zotov

PhD in Technical Sciences

State Scientific Institution «V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Belarus academy of Sciences», Department 1 «Composite Materials and Recycling of Polymers», Leading Researcher

Address: Kirova str., 32a,
246050, Gomel, Belarus
e-mail: zotov-1969@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4480-6503

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-3.321>

SORPTION AND RETENTION CAPACITY OF MODIFIED FIBROUS-POROUS MATERIALS IN RELATION TO OIL AND PETROLEUM PRODUCTS

Zhukalov V.I., Goldade V.A., Zotov S.V.

Purpose. Investigation of the effect of electric polarization of polymeric fibrous materials on the sorption of oil and petroleum products.

Methods. Melt blowing of Borealis brand polypropylene. Polarization of samples in a corona discharge field of positive and negative polarity with a strength of 25 kV/cm. Sample processing in low-temperature oxygen plasma of a glow discharge with a frequency of 35 kHz. Weighting method for determining sorption characteristics. Scanning electron microscopy method. Electret thermal analysis method.

Findings. The dependence of sorption parameters of materials on the type of physical modification – corona discharge of different polarity and low-temperature plasma of a glow discharge – has been established. It is shown that the modification of fibrous-porous materials in a corona discharge field to impart electret properties to them somewhat reduces the sorption characteristics of these materials in relation to oil. In the manufacture of sorption materials for the collection of crude oil, the original unmodified fibrous-porous material should be used. It has been experimentally established that in the manufacture of sorption materials for the collection of light oil fractions, the preferred method is the modification of fibers in a corona discharge field of negative polarity. Electrization has a significant effect on the processes of sorption by fibers of its lipophilic components. A physical model of the sorption of petroleum products by electret samples of polymeric fibrous-porous materials is proposed.

Application field of research. Fibrous-porous polymeric materials subjected to physical modification with the formation of an electret state can be used for: sorption of some oil fractions, filtration of liquids from contaminants of a dielectric nature, purification of air from ionized dust containing radioactive particles, targeted separation of biological fluids containing dielectric and (or) electret components.

Keywords: sorption, oil, diesel fuel, corona discharge, polarization, electret state, physical model.

(The date of submitting: April 20, 2021)

REFERENCES

1. Samoilov N.A., Khlestkin R.V., Shemetov A.V. *Sorbtsionnyy metod likvidatsii avariynykh razlivov nefi i nefteproduktov* [Sorption method for liquidation of emergency oil and petroleum products spills]. Moscow: Khimiya, 2001. 189 p. (rus)
2. Radetić M.M., Jocić D.M., Jovančić P.M., Petrović Z.L., Thomas H.F. Recycled wool-based nonwoven material as an oil sorbent. *Environmental Science & Technology*, 2003. Vol. 37, No 5. – P. 1008–1012. DOI: 10.1021/es0201303.
3. Chikina N.S. *Likvidatsiya rozlivov nefi i nefteproduktov s ispol'zovaniem sorbenta na osnove penopolimernoy i otkhodov zernovykh kul'tur* [Liquidation of spills of oil and oil products with the use of a sorbent based on polyurethane foam and grain crop waste]: PhD tech. sci. diss. Synopsis: 03.00.16. Kazan, 2010. 20 p. (rus)
4. Sobgayda N.A., Finaenov A.I. Novye uglerodnye sorbenty dlya ochistki vody ot nefteproduktov [New carbon sorbents for water purification from oil products]. *Ecology and Industry of Russia*, 2005. No. 12. Pp. 8–10. (rus)
5. Sirotkina E.E., Novoselova L.Yu. Materials for adsorption purification of water from petroleum and oil products. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005. No. 3, Pp. 359–375. Url: https://sibran.ru/en/journals/issue.php?ID=119852&ARTICLE_ID=125452.
6. Goldade V.A., Zhukalov V.I., Zotov S.V. Fibrous sorbents for gathering of oil and petroleum products. *International Scientific Journal Theoretical & Applied Science*, 2018. No. 06 (62). Pp. 139–149. DOI: 10.15863/TAS.2018.06.62.26.
7. Goldade V.A., Makarevich A.V., Pinchuk L.S., Sikanovich A.V., Chernorubashkin A.I. *Polimernye voloknistye melt-blown materialy* [Polymer fibrous melt-blown materials]. Gomel: Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, 2000. 260 p. (rus)
8. Pinchuk L.S., Goldade V.A., Makarevich A.V., Kestelman V.N. *Melt Blowing: Equipment, Technology, and Polymer Fibrous Materials*. Springer-Verlag: Berlin-Heidelberg-New York, 2002. 224 p. Url: <https://www.springer.com/gp/book/9783642627859>.

9. Lushcheykin G.A. *Metody issledovaniya elektricheskikh svoystv polimerov [Methods for studying the electrical properties of polymers]*. Moscow: Khimiya, 1988. 160 p. (rus)
10. Fonareva K.A. *Sorbtsiya nefteproduktov polietilentereftalatnym voloknom i ego regeneratsiya tsen-trobezhnym sposobom [Sorption of petroleum products by polyethylene terephthalate fiber and its re-generation by centrifugal method]*: PhD tech. sci. diss.: 05.17.08. Izhevsk, 2017. 158 p. (rus)
11. Goldade V.A., Pinchuk L.S., Zotov S.V., Kravtsov A.G., Rychkov A.A. On the mechanism of charge storage in melt-blown fibrous polymer materials. *Proceedings of the 3-rd International Conference on advances in processing, testing and application of dielectric materials (APTADM-2007)*. Wroclaw, Poland, 2007. Pp. 185–190.
12. Pinchuk L.S., Goldade V.A., Kravtsov A.G., Zotov S.V., Jurkowski B., Kelar K. Spontaneous polarization of polymer blends. *Polymer*, 2003. Vol. 44, Iss. 17. Pp. 5031–5037. DOI: 10.1016/S0032-3861(03)00375-6.
13. Kravtsov, A.G. *Elektricheskie i magnitnye polya v polimernykh voloknistykh elementakh dlya tonkoy ochildki mnogofaznykh sred [Electric and magnetic fields in polymeric fibrous elements for fine cleaning of multiphase media]*: Grand PhD tech. sci. diss. Synopsis: 01.04.07. Gomel, 2007. 45 p. (rus)
14. Petryanov I.V., Kozlov V.I., Basmanov P.I. *Voloknistye fil'truyushchie materialy FP [Fiber filter media FP]*. Moscow: Znanie, 1963. 65 p. (rus)
15. Kravtsov A.G., Goldade V.A., Zotov S.V. *Polimernye elektretnye fil'tromaterialy dlya zashchity organov dykhaniya [Polymer electret filter materials for respiratory protection]*. Ed. L.S. Pinchuk. Gomel: Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, 2003. 204 p. (rus)