

УДК 677 076.4:628.3

Жалыбина Анастасия Юрьевна, студентка,  
Московский Политехнический университет  
Zhalybina Anastasia Yurievna, student,  
Moscow Polytechnic University

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ  
ИГЛОПРОБИВНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СБОРА  
НЕФТИ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ  
INVESTIGATION OF SORPTION PROPERTIES  
OF NEEDLE-PUNCHED NONWOVENS FOR OIL SPILL CLEANUP**

**Аннотация.** Исследована возможность применения иглопробивных нетканых материалов из полипропиленовых и полиэфирных волокон для удаления нефтепродуктов с поверхности воды. Определены зависимости сорбционной емкости от структуры материала, вида нефтепродукта и температуры. Установлены оптимальные параметры для максимального поглощения нефти. Показана возможность многократного использования материалов после регенерации.

**Abstract.** The use of needle-punched nonwoven materials from polypropylene and polyester fibers for oil removal from water surface was studied. The dependences of sorption capacity on material structure, oil type and temperature were determined. Optimal parameters for maximum oil absorption were established. Multiple reuse of materials after regeneration is shown.

**Ключевые слова:** Нетканый материал, сорбция, нефтепродукты, полипропилен, полиэтилентерефталат.

**Keywords:** Nonwoven material, sorption, oil products, polypropylene, polyethylene terephthalate.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Загрязнение водных объектов нефтью остается одной из острых экологических проблем, при этом традиционные методы ликвидации разливов имеют существенные недостатки, включая низкую эффективность при тонких пленках, вторичное загрязнение и высокую стоимость. В связи с этим сорбционные методы рассматриваются как наиболее перспективные для финальной стадии очистки воды [1].

Среди сорбционных материалов особый интерес представляют синтетические волокнистые материалы благодаря их гидрофобности, высокой пористости, плавучести и возможности регенерации, причем иглопробивные нетканые материалы выделяются развитой поверхностью и технологичностью производства [2].

Цель работы – исследование сорбционных свойств иглопробивных материалов различной структуры и определение оптимальных параметров для создания эффективных нефтесорбирующих изделий.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В качестве объектов исследования использовались иглопробивные нетканые полотна, изготовленные из полипропиленовых (ПП) и полиэфирных (ПЭТ) волокон диаметром 20–40 мкм и линейной плотностью 0,33–0,66 текс. Образцы различались по поверхностной плотности, толщине и пористости.

Сорбционную емкость определяли весовым методом. Образцы размером 50×50 мм помещали на поверхность воды, загрязненной нефтью (сырая нефть, дизельное топливо, мазут). Через заданные промежутки времени образцы извлекали, давали стечь свободной жидкости в



течение 1 минуты и взвешивали.

Сорбционную емкость рассчитывали по формуле:

$$Q = \frac{m - m_0}{m_0} \quad (1)$$

где: Q – сорбционная емкость, г/г (г сорбата на г сорбента); m – масса образца после сорбции, г; m<sub>0</sub> начальная масса образца, г.

Степень заполнения пор определяли по формуле:

$$Z = \frac{Q \cdot \rho_m \cdot (1 - \varepsilon)}{\rho_m (1 - \varepsilon)} \cdot 100\% \quad (2)$$

где: ρ<sub>н</sub> – плотность нефти (860 кг/м<sup>3</sup>); ρ<sub>м</sub> – плотность материала волокон (ПП – 910 кг/м<sup>3</sup>, ПЭТ – 1380 кг/м<sup>3</sup>); ε – пористость материала.

Дополнительно определялся краевой угол смачивания водой для оценки гидрофобности материалов.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для выявления зависимости сорбционных свойств от структуры были исследованы образцы с различной поверхностной плотностью, толщиной и пористостью.

Таблица 1.

Характеристики исследованных образцов

№	Состав	F, кг/м <sup>2</sup>	d, мм	ρ, кг/м <sup>3</sup>	ε
1	ПП 100%	0,18	3,2	56,3	0,938
2	ПП 100%	0,35	5,8	60,3	0,934
3	ПП 100%	0,62	8,5	72,9	0,920
4	ПП 100%	0,94	12,4	75,8	0,917
5	ПЭТ 100%	0,34	4,7	72,3	0,948
6	ПЭТ 100%	0,65	7,9	82,3	0,940
7	ПП/ПЭТ	0,36	5,2	69,2	0,940

Как видно из таблицы 1, образцы охватывают широкий диапазон структурных параметров, что позволяет проследить их влияние на сорбционные свойства. Результаты измерения сорбционной емкости этих образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Сорбционные характеристики образцов (нефть, 20°C, 30 мин)

№	1	2	3	4	5	6	7
<b>Сорбционная емкость, г/г</b>	8,2	9,8	11,4	12,6	5,8	6,9	8,5
<b>Время к 50% емкости, мин</b>	2,8	3,5	4,2	5,1	1,8	2,3	2,9
<b>Краевой угол смачивания водой, °</b>	138	142	145	146	112	115	131

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что наибольшую сорбционную емкость демонстрируют образцы полипропилена с высокой поверхностной плотностью. Образец №4 (ПП, 0,94 кг/м<sup>2</sup>) поглощает 12,6 г нефти на 1 г сорбента, что является максимальным показателем. Полиэфирные образцы (№5-6) показывают значительно более низкие результаты (5,8-6,9 г/г) из-за меньшей гидрофобности. При этом образцы с высокой сорбционной емкостью требуют больше времени для насыщения: если образец №5 достигает 50% емкости за 1,8 минуты, то образцу №4 требуется 5,1 минуты. Это связано с более плотной структурой и большей толщиной материала, затрудняющими проникновение нефти вглубь.



Поскольку реальные загрязнения могут содержать различные нефтепродукты, было исследовано поведение с разными углеводородами образца №3 (ПП, 0,62 кг/м<sup>2</sup>, 8,5 мм), обладающий оптимальным сочетанием высокой сорбционной емкости (11,4 г/г).

Таблица 3.

Сорбция различных нефтепродуктов образцом №3

Нефтепродукт	Дизельное топливо	Нефть	Мазут	Бензин
Сорбционная ёмкость, г/г	13,8	11,4	9,2	7,5
Время насыщения, мин	8	25	45	3

Как видно из таблицы 3, максимальная сорбционная емкость достигается для дизельного топлива (13,8 г/г), минимальная – для бензина (7,5 г/г). Низковязкий бензин быстро проникает в поры, но хуже удерживаются при извлечении образца. Высоковязкий мазут сорбируется медленно, но достигает достаточно высокой емкости. Температура воды при ликвидации разливов может существенно варьироваться. Исследование влияния температуры на сорбцию нефти образцом №3 представлено в таблице 4.

Таблица 4.

Влияние температуры на сорбцию (образец №3)

Температура, °С	5	10	20	30	40
Сорбционная ёмкость, г/г	8,2	9,4	11,4	12,8	13,5
Время насыщения, мин	65	48	25	15	10

Повышение температуры увеличивает сорбционную емкость и сокращает время насыщения. При 40°С емкость на 18% выше, чем при 20°С, а время насыщения сокращается в 2,5 раза. Это связано со снижением вязкости нефти и улучшением смачивания волокон.

Важным показателем для практического применения является возможность многократного использования сорбента. Исследование регенерации образца №3 представлено в таблице 5.

Таблица 5.

Регенерация и повторное использование (образец №3)

Цикл	1	2	3	4	5
Способ регенерации	Исходный образец	Механич. отжим	Механич. отжим	Отмывка в гексане	Отмывка в гексане
Сорбционная ёмкость, г/г	11,4	8,7	6,5	11,0	9,8
Сокращение ёмкости, %	100	76,3	57,0	96,5	86,0

Механический отжим позволяет удалить 60-70% сорбированной нефти, но после трех циклов емкость падает до 57% от исходной. Отмывка в органическом растворителе практически полностью восстанавливает исходную емкость: после пяти циклов сохраняется 86% исходной способности, что свидетельствует о возможности многократного использования [3, 4].

### ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования установлено, что иглопробивные нетканые материалы из полипропиленовых волокон обладают высокой сорбционной способностью по



отношению к нефти и нефтепродуктам, достигающей 12–14 г/г. Оптимальными характеристиками обладают образцы с поверхностной плотностью 0,6–0,9 кг/м<sup>2</sup> и толщиной 8–12 мм.

Полипропиленовые материалы значительно превосходят полиэфирные по сорбционной емкости благодаря большей гидрофобности. Степень заполнения пор у полипропиленовых образцов достигает 71%, что свидетельствует об эффективном использовании структуры материала.

Максимальная сорбционная емкость зафиксирована для дизельного топлива (13,8 г/г), минимальная – для бензина (7,5 г/г). При этом низковязкие продукты сорбируются быстрее, но хуже удерживаются, тогда как высоковязкие требуют больше времени для насыщения.

Повышение температуры от 5 до 40°C увеличивает сорбционную емкость на 65% и сокращает время насыщения в 6,5 раза, что связано со снижением вязкости нефти. Данный факт необходимо учитывать при эксплуатации сорбентов в различных климатических условиях.

Материалы могут быть регенерированы отмывкой в органическом растворителе с сохранением до 86% исходной емкости после пяти циклов использования, что позволяет создавать многоразовые сорбирующие изделия.

Полученные результаты позволяют рекомендовать исследованные материалы для создания средств ликвидации разливов нефти, очистки промышленных стоков и фильтров для разделения водонефтяных эмульсий.

*Список литературы:*

1. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности сорбентами / Ф.А. Каменщиков, Е.И. Богомольный // – Ижевск: Институт компьютерных исследований, – 2018. – С. 284.
2. Wei Q.F., Mather R.R., Fotheringham A.F. Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery / Q.F. Wei, R.R. Mather, A.F. Fotheringham // Environmental Science & Technology. – 2019. – № 4. – P. 2145.
3. Байбурдов Т. А., Шмаков С. Л. Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор англоязычной литературы за 2000-2017 гг. (часть 2) // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. №2.
4. ГОСТ 33627-2015. Нефть и нефтепродукты. Метод определения сорбционной емкости материалов. – М.: Стандартинформ, 2015.

