

УДК 629.7.063.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАНОВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СМЕСИ ФТОРПОЛИМЕРОВ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

М.А. СМУЛЬСКАЯ, Ю.Н. ФИЛАТОВ, И.Ю. ФИЛАТОВ

В статье изложена методика и результаты исследования материала на основе смеси фторполимеров Ф-42 и СКФ-26, полученного методом электроформования.

Ключевые слова: фильтрация топлива, сепарация эмульсионной воды, нановолокна, электроформование.

В настоящее время в России существует серьезная проблема в обеспечении нужной тонкости очистки различных видов топлив. Реактивные топлива имеют самые жесткие требования к чистоте, что обусловлено, прежде всего, обеспечением безопасности полетов. Самой частой причиной отказа топливных систем самолетов является наличие избыточных количеств механических примесей и эмульсионной воды.

Создание фильтрующих композиционных материалов, которые совмещали бы тонкость фильтрации мембранных фильтров при сохранении производительности на достаточно высоком уровне, является актуальной задачей для тонкой очистки топлив в авиационной и других областях промышленности. Так как авиационное топливо является многокомпонентной агрессивной средой, содержащей смесь ароматических и олефатических углеводородов и тетрагидрофуран, метанол, этилцеллозольв, в качестве присадок [1], широкое использование таких фильтрующих материалов возможно лишь при условии их высокой химической стойкости, которому отвечают фторполимеры [2]. При производстве фильтрующих бумаг их хемостойкость обеспечивается пропитками из различных видов смол [3].

Технология электроформования волокнистых материалов открывает новые области использования фторполимеров: в качестве составляющей нетканого волокнистого фильтра для топлив. Ранее материалы по этой технологии уже использовались для ультратонкой очистки жидкостей [4, 5]. Благодаря выбору оптимальной системы полимеров, в качестве которых были предложены Ф-42 и СКФ-26, и растворителей был получен нановолокнистый материал, отвечающий требованиям хемостойкости, высокой гидрофобности и эффективности фильтрации.

В настоящее время в странах СНГ фильтрация топлив производится в основном целлюлозными фильтровальными бумагами, тогда как за рубежом распространено применение стеклокартонов, содержащих субмикронные волокна, увеличивающие их эксплуатационные характеристики.

Целлюлозные бумаги обладают существенными недостатками, а именно ограниченным ресурсом: при взаимодействии на протяжении некоторого времени с эмульсионной водой и под воздействием перепада давления поры материала раскрываются, и тонкость фильтрации не соответствует заявленной в паспорте, следовательно, падает и эффективность фильтрации. На российском рынке преимущественно используют продукцию производства Hollingsworth с указанным средним диаметром поры: целлюлозные фильтровальные бумаги марок HW942 ($d_p = 57$ мкм), HW424 ($d_p = 30$ мкм), HW882 ($d_p = 21$ мкм) и стеклокартоны HW1447 ($d_p = 5$ мкм), HW1388 ($d_p = 15,5$ мкм).

Для изучения процесса очистки топлива от механических примесей и свободной воды, исследования эксплуатационных характеристик материала на основе фторполимеров использовался стенд для испытаний фильтров СИФ-2.



Стенд позволяет испытывать различные модели фильтров и фильтров-водоотделителей, используемых в топливных, гидравлических и масляных системах. При этом моделирование объекта испытания осуществляется с учетом сохранения принципа подобия протекающих процессов водоотделения и очистки рабочей жидкости от мехпримесей, максимально приближенных к его реальным физическим процессам в полномасштабном объекте.

В качестве рабочей жидкости использовалось топливо для реактивных двигателей (ГОСТ 10227, ГОСТ 12308) с присадками, добавленными в количествах, установленных нормативной документацией.

При проведении испытаний нетканого волокнистого материала на основе фторполимеров на стенде СИФ-2 ставились задачи: снятие его гидравлических характеристик в загрязненном топливе и сравнение их с характеристиками фильтрующих бумаг, оценка фильтрующей способности материала от механических примесей и эмульсионной воды; установление возможности конструирования коагулирующего и сепарирующего элементов из данного материала.

В процессе работы фильтрующего элемента при заданном расходе снимался перепад давления на нем через равные количества отфильтрованного топлива. В качестве искусственного загрязнителя выступала кварцевая пыль (ГОСТ 8002-74).

При испытании коагулирующих и сепарирующих свойств материала последовательность действий была подобна, однако вместо навески пыли готовилась эмульсия воды. Наличие свободной воды в топливе, прошедшем коагулирующий и сепарирующий элементы определялось с помощью индикатора качества топлива ИКТ с приспособлением ПОЗ-Т по изменению цвета за счет реакции входящих в его состав желтой и красной кровяной соли с водой.

Чтобы установить основные эксплуатационные характеристики материала, требовалось оценить дисперсность основных загрязнителей реактивного топлива и исследовать механизм забивки модельных фильтров. Как отмечалось выше, загрязнителями авиационного топлива являются механические примеси различной природы и свободная (эмульсионная) вода. Механические примеси попадают в топливо обычно на этапе транспортировки и отгрузки с нефтеперерабатывающих заводов и имеют широкий разброс по размерам частиц. Так как фильтрующий волокнистый материал на основе Ф-42/СКФ-26 предложен на роль мембранного фильтра и способен к высокой тонкости очистки, то следовало ориентироваться на размер частиц, которые преодолевают использующиеся на практике фильтрующие элементы при прохождении через них топлива. Размер этих частиц лежит в диапазоне менее 5 мкм. Капли эмульсионной воды имеют размер 0,5 – 4 мкм.

Однако волокнистый материал должен быть механически прочен и не подвержен раскрытию поры при раздвижении волокон, в случае, если на него попадут крупные частицы механических примесей или возрастет перепад давления на фильтрующем элементе. Поэтому при испытаниях моделей фильтров из волокнистого материала в реактивное топливо добавлялся модельный загрязнитель – кварцевая пыль, образующая в топливе суспензию с распределением частиц от 0,5 до 50 мкм.

Из различных фильтрующих бумаг марки Hollingsworth, нановолокнистого материала из Ф-42/СКФ-26 и композиционного материала (бумага + нановолокнистый материал) делались модельные цилиндрические фильтры, через которые прокачивалось на СИФ-2 около 30 литров загрязненного топлива с концентрацией загрязнителя 0,033 г/л. При этом снималась динамика забивки фильтра – зависимость перепада давления на фильтрующем элементе от объема прошедшего через него топлива (рис. 1).



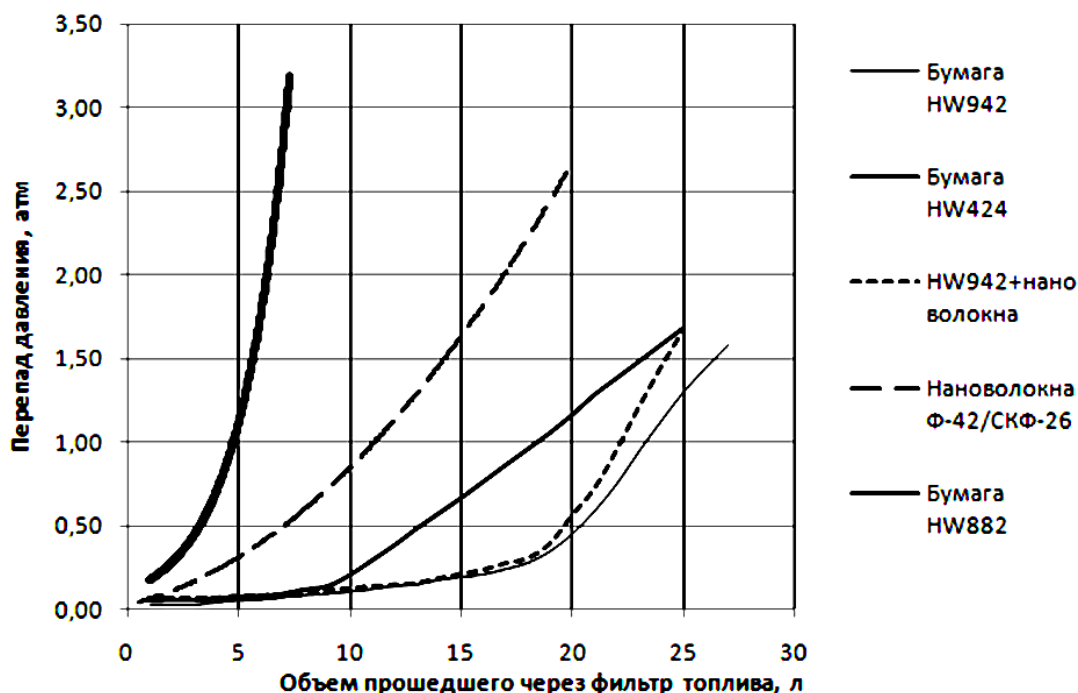


Рис. 1. Зависимость приведенного перепада давления для постоянной скорости фильтрации 1 см/с от объема прошедшего через фильтр топлива для модельных фильтров из бумаги, нановолокнистого материала из Ф-42/СКФ-26 и композиционного материала (бумага + нановолокнистый материал)

Из графика видно, что фильтроэлемент из бумаги HW882, имеющей самый малый средний диаметр поры ($d_p = 21$ мкм), достигает перепада давления в 1 атм. уже при прохождении через него 5 литров топлива с заданной концентрацией загрязнителя. Зависимость растет экспоненциально, что является отрицательной характеристикой при эксплуатации фильтра, так как свидетельствует о скорой забивке пор. Для бумаг HW424 ($d_p = 30$ мкм) и HW942 ($d_p = 57$ мкм) кривые легко делятся на два участка: начальный, который практически совпадает для той и другой, и конечный, образующийся после перегиба. Чем больше угол этого перегиба, тем медленнее в последующем забивается фильтрующий элемент.

Кривая для нановолокнистого фильтрующего материала из Ф-42/СКФ-26 носит экспоненциальный характер, следовательно, можно судить о том, что на начальном этапе фильтроэлемент забивается интенсивно из-за меньшей по сравнению с бумагами поры ($d_p \sim 2$ мкм), а затем накапливает на поверхности осадок из частиц, значительно превышающих по размеру диаметр его пор, который сам начинает работать предфильтром (явление автофильтрации). Это подтверждает тот факт, что хотя начальные участки данной кривой и кривых бумаг HW942 и HW424 не совпадают, углы перегиба у них очень близки.

При использовании композиционного материала, состоящего из двух слоев (нановолокна + бумага HW942), кривая ложится между кривыми соответствующей бумаги и нановолокон, но намного ближе к первой. Сравнивая кривые забивки нановолокнистого материала, используемого одиночно и с бумагой в качестве предфильтра, можно судить о роли грязеемкости в динамике забивки. Перераспределение осадка по двум слоям с большей и меньшей порой позволяет увеличить первый участок кривой и угол перегиба, что, следовательно, приводит к более медленному возрастанию перепада давления на фильтроэлементе.

Для качественного определения тонкости фильтрации различных фильтрующих материалов (бумаг и волокнистых материалов) был собран модельный фильтр из 6 слоев, в котором последовательно были уложены бумаги HW930, HW424, HW882 и волокнистые материалы из



Ф-42/СКФ-26 с различным средним диаметром волокон: 450, 230 и 80 нм соответственно. Таким образом, о размерах частиц загрязнителя проходящих свободно через тот или иной фильтрующий материал стало возможным судить по тому, каков размер частиц, уловленных на следующих слоях. Благодаря оценке среднего оптического диаметра частиц загрязнителя по микрофотографиям было установлено, что бумага HW930 абсолютно задерживает частицы и агломераты частиц кварцевой пыли размером более 25 мкм, поскольку в осадке, отфильтрованном бумагой HW424, частиц большего размера не обнаруживается. Бумага HW424 полностью отфильтровывает частицы размером более 16 мкм. Волокнистый материал со средним диаметром волокон 450 нм практически не задержал частиц, что свидетельствует о том, что его фильтрующая способность близка к фильтрующей способности бумаги HW882, и задержание частиц размером до 6 мкм, прошедших через HW882, осуществлялось исключительно самыми мелкими порами волокнистого материала. Полностью эти частицы садятся на следующий слой нановолокнистого материала с диаметром волокон 270 нм (рис. 2).

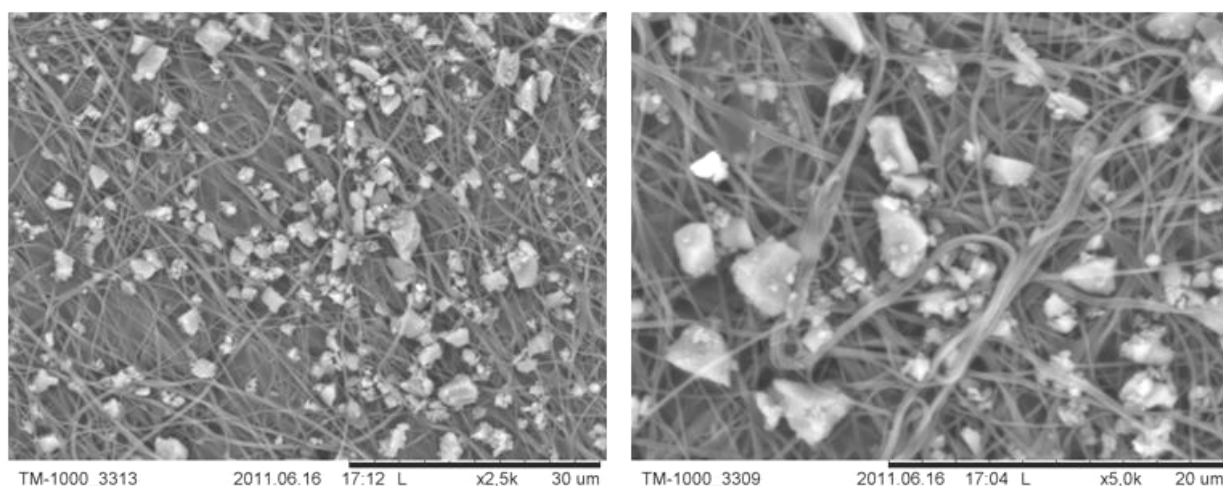


Рис. 2. Пятый слой – нановолокна Ф-42/СКФ-26 (80:20), $d_v=270$ нм слева увеличение

Нановолокнистый материал из волокон с диаметром 80 нм способен задерживать частицы в диапазоне от 0,5 мкм и выше (рис. 3), которые не уловили предыдущие фильтрующие материалы многослойного модельного фильтра.

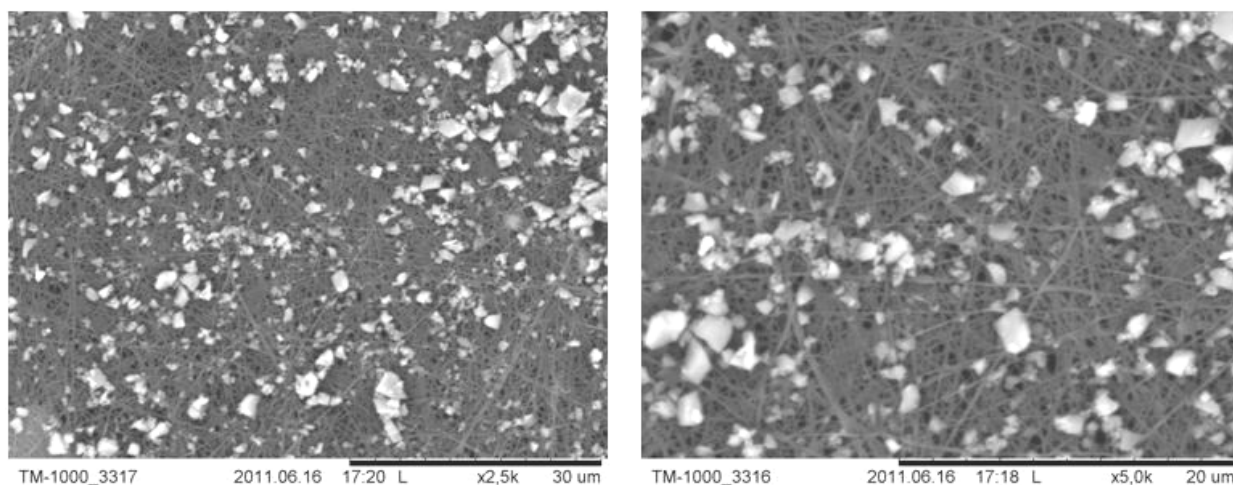


Рис. 3. Шестой слой – нановолокна Ф-42/СКФ-26 (80:20), $d_v=80$ нм слева увеличение $\times 2500$, справа $\times 5000$, размер задержанных частиц 0,5 – 3 мкм



Для фильтрации загрязненного топлива в реальных системах очистки используется блок из трех основных элементов – фильтрующего, коагулирующего и сепарирующего. Очищенное от механических примесей топливо, содержащее эмульсионную воду, поступает на коагулирующий элемент, где капли воды укрупняются в 100-1000 раз. Наиболее крупные капли под действием силы тяжести падают на дно фильтрующей системы, тогда как более мелкие увлекаются потоком и попадают на поверхность сепарирующего элемента и отделяются от топлива.

Кроме фильтрующего материала для очистки от механических примесей размером более 0,5 мкм были опробованы коагулирующий и сепарирующий элементы, состоящие из нановолокнистого материала из Ф-42 со средним диаметром волокон 80 нм на подложке из полипропиленового спанбонда. В сепарирующем элементе материал был уложен в один слой, так чтобы коагулированные капли воды попадали на нановолокна. Коагулирующий элемент представлял собой 12 слоев такого же нановолокнистого материала на подложке, обернутого одним слоем иглопробивного материала из полиэфирных микроволокон.

После испытания на СИФ-2 был сделан вывод о том, что предложенные модельные коагулирующий и сепарирующий элементы выполняют свои функции, однако требуется оптимизация количества слоев (для коагулирующего элемента), массы ед. площади нановолокнистого материала в каждом слое и пр.

В результате исследования эксплуатационных характеристик предложенного материала можно сделать вывод о его преимуществах перед фильтровальными бумагами в таких показателях, как тонкость и эффективность фильтрации и сохранение ресурса фильтра. Волокнистый материал из Ф-42/СКФ-26 с диаметром волокон 80 – 200 нм может быть использован для фильтрации топлива от механических примесей размером 0,5 мкм и выше как с фильтровальной бумагой в качестве предфильтра, так и без предфильтрации. Проведенные исследования выявили перспективу создания сепарирующего и коагулирующего материалов на основе нановолокнистого материала из Ф-42/СКФ-26 с диаметром волокон 80 – 200 нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А.А., Фукс И.Г., Лашхи В.Л. Химотология. – М.: Химия, 1986.
2. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты. – Л.: Химия, 1978.
3. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива. – М.: Машиностроение, 1970.
4. А. с. СССР, № 980313. Способ получения фильтровального нетканого материала / Петрянов-Соколов И.В.; Гойденко П.П.; Дружини Э.А.; Игнашева А.В.; Верниковский С.А.; Андарало М. - М., 1980.
5. А.с. СССР, № 1444995. Фильтрующий материал для очистки фосфорной кислоты / Володин В.Ф., Филатов Ю.Н., Шепелев А.Д. - М., 1988.
6. Бродский Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин. – М.: Горная промышленность, 2003.

THE INVESTIGATION OF RUNNING SERVICE OF ELECTROSPUN NANOFIBROUS MATERIALS OBTAINED FROM FLUROPOLYMER MIXTURES

Smulskaya M.A., Filatov Yu.N., Filatov I.Yu.

In the article sets out the methodology and results of the investigation of electrospun nanofibrous materials obtained from fluropolymer mixtures.

Key words: electro spinning, nanofibrous, fuel filtration, separation of the emulsion water.



Сведения об авторах

Смольская Мария Анатольевна, окончила МИТХТ им. М.В. Ломоносова (2011), младший научный сотрудник ФГУП ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, автор 4 научных работ, область научных интересов – фильтрация жидкостей, электроформование волокнистых материалов.

Филатов Юрий Николаевич, 1950 г.р., окончил МИТХТ им. М.В. Ломоносова (1973), доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией – руководитель научно-технического центра ФГУП ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, старший преподаватель МИТХТ им. М.В. Ломоносова, автор более 120 научных работ, область научных интересов – электроформование волокнистых материалов, разработка и исследование фильтрующих материалов для фильтрации газов и жидкостей.

Филатов Иван Юрьевич, 1983 г.р., окончил МИТХТ им. М.В. Ломоносова (2006), инженер химии и технологии, научный сотрудник ФГУП ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, автор 15 научных работ, область научных интересов - электроформование волокнистых материалов, разработка и исследование фильтрующих материалов для фильтрации газов и жидкостей.

