

УДК 537.2.628.353/354.678.02732:677.494

А.И. Зуборев, Р.С. Старосто,
ГУО «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧС

Работа представляет собой обзор, в котором перечислены основные типы фильтрующих материалов, применимые в технологиях предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, с указанием их преимуществ и недостатков. А также определяется наиболее перспективное направление развития фильтрующих материалов.

Ключевые слова: фильтрующие материалы, очистка, газовые и жидкие среды, полимеры, melt blowing, электрет.

Постановка проблемы. Техногенное загрязнение окружающей среды представляет собой одну из важнейших проблем современного мира. Как экстенсивное, так и интенсивное развитие промышленного производства с одинаковой неизбежностью ведут к увеличению риска образования чрезвычайных ситуаций (ЧС) различного характера. Среди ЧС, наиболее опасных для среды обитания человека, можно отметить те, которые ведут к загрязнению воздуха и воды дисперсными веществами, являющимися прямыми или побочными продуктами технологических процессов. На промышленных предприятиях повседневные плановые мероприятия по защите окружающей среды сводятся к очистке воздуха и воды от техногенных загрязнений при помощи фильтров, известных в различных конструкционных исполнениях. Однако мало кто задумывается о защите воздуха, грунтовых вод и почвы в случае аварийного возникновения ЧС, которые, как известно, способны нанести быстрый и катастрофический ущерб. В связи с этим особо остро стоит проблема очистки газовых и жидких сред, в состав которых входят продукты тушения пожаров, с целью предотвращения попадания широкого спектра вредных веществ в экосистемы [1].

Анализ последних достижений и публикаций. Фильтрующие материалы (ФМ, основной рабочий компонент любого фильтра) различают по физико-химическим свойствам сырья, из которого они изготовлены, и по технологии изготовления. Подавляющее большинство фильтрующих материалов состоит из волокон широкого ассортимента, весьма разнообразных по химическому составу. Волокнистую основу имеют такие широко распространенные ФМ, как ткани, нетканые текстильные материалы, бумага, картон, войлок, маты. Волокна в несвязанном виде, в том числе в разнообразных сочетаниях, используют в конструкциях набивных и навивных фильтрующих элементов, что позволяет значительно улучшить эксплуатационные показатели фильтров.

Фильтры также целесообразно классифицировать по типу среды, для очистки которой они предназначены, например:

- 1) фильтры для очистки газовых сред;
- 2) фильтры для очистки жидких сред;
- 3) многофункциональные фильтры.

1. Фильтры для очистки газовых сред

Один из вариантов классификации фильтров для очистки газовых сред [2] – их разделение на:

- фотокаталитические;
- адсорбционные;
- пылевые;
- ионизирующие очистители, или электрофильтры.

Наиболее простыми в конструкционном отношении являются адсорбционные и пылевые фильтры, которые, в свою очередь, могут быть панельными и карманными.

Панельные фильтры [2], применяют на первой ступени в установках грубой очистки воздуха. Основные свойства: высокая механическая прочность; жесткий водостойкий картонный корпус; ФМ укреплен проволочной решеткой; корпус фильтра исключает возможность обтекания воздушным потоком. Фильтры крепятся герметично на специальной раме с возможностью демонтажа и замены. ФМ обычно представляет собой комбинацию стеклянных и синтетических (полимерных) волокон.

Карманные фильтры [2] также предназначены для использования на первой ступени очистки воздуха. При их монтаже мешки с фиксированной конфигурацией собираются в общей раме повышенной прочности. Максимальная рабочая температура для таких фильтров составляет 70 °С при относительной влажности 100 %, рекомендуемое конечное падение давления – 250 Па. ФМ состоит из синтетических (полимерных) волокон. Известны карманные фильтры тонкой очистки, которые могут быть использованы на второй ступени установок обработки воздуха. Свободные части мешков с фиксированной конфигурацией фиксируются на одинаковом расстоянии друг от друга с помощью специальной дистанцирующей ленты, что обеспечивает низкий перепад давления воздуха и длительный срок службы. Максимальная рабочая температура для подобных фильтров составляет 90 °С при относительной влажности 100 %, фильтрующий материал – стекловолоконный.

Известны многослойные ФМ, например, содержащие наружный, первый по ходу очищаемой среды слой из непрерывных крученых волокон трикотажного плетения, и второй слой из вязально-прошивного или прессованного базальтового материала на базальтовой трикотажной подоснове с обеих сторон, который способен выдержать динамические удары выбрасываемых газов при температуре до 700 °С.

Важное место среди волокнистых ФМ для очистки воздуха до сих пор занимают полимерные фильтры Петрянова [3], широко применяемые в составе средств индивидуальной защиты органов дыхания – легких респираторах. Фильтрующие материалы Петрянова (рисунок 1) обладают высокой химической стойкостью, термостойкостью, механической прочностью, значительной теплоизоляционной способностью, а также демонстрируют высокую эффективность задержки частиц микронного размера при достаточно низком аэродинамическом сопротивлении.

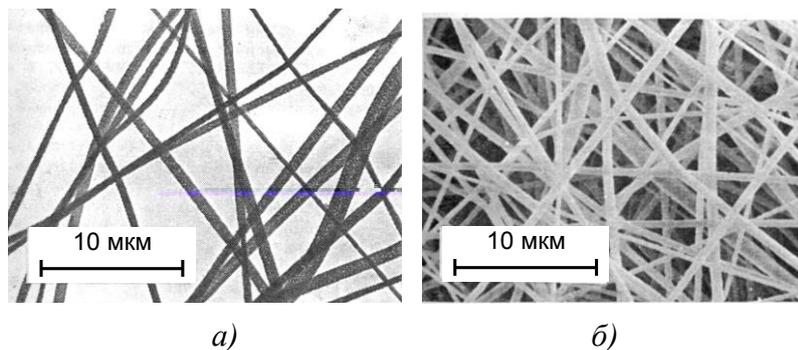


Рисунок 1 – Микроструктура фильтров Петрянова по данным проекционной микроскопии (а) и растровой электронной микроскопии (б)

Это достигается во многом благодаря тому, что при «электроформовании» волокон из струй и капель раствора полимера образующиеся волокна приобретают электростатный заряд. К середине 1990-х гг. ассортимент фильтров Петрянова включал до 50 наименований.

Как указано в работе [4], технологические особенности процесса формирования фильтров Петрянова (применение токсичных растворителей полимеров и громоздких технологических агрегатов) позволяют отнести его к числу неэкономичных и неэкологичных. Поэтому в последние десятилетия ведутся работы по замене этих фильтров на полимерные волокнисто-пористые ФМ, полученные методом аэродинамического

распыления расплава широко доступных полиолефинов – melt blowing [4]. Составляющие альтернативу фильтрам Петрянова melt blown материалы образованы волокнами, которые имеют диаметр от 0,5 до 200 мкм и когезионно скреплены в точках контакта. Характерными свойствами таких волокон являются высокая абсорбционная способность, регулируемое распределение волокон по диаметру и по плотности укладки, большой объем пустот между волокнами, проницаемость для жидкостей и газов.

В работах [4, 5, 6] изложены разработанные в Институте механики металлополимерных систем НАН Беларуси (г. Гомель) основные критерии оптимизации метода melt blowing с целью получения тонковолокнистых ФМ, не уступающих фильтрам Петрянова по эксплуатационным характеристикам. Высокая эффективность фильтрации достигается за счет удачной комбинации структурно-морфологических параметров таких ФМ и наличия на волокнах полиолефинов стабильного электростатического заряда с поверхностной плотностью 10–20 нКл/см². Поле электростатического заряда позволяет захватывать из воздуха и удерживать микронные и субмикронные частицы загрязнений за счет действия сил кулоновского притяжения по отношению к частицам аэрозолей, несущим собственный электрический заряд или обладающим наведенным дипольным моментом. Это доказывается данными таблицы 1, полученными при пропускании через волокнистые фильтры гетеродисперсных аэрозолей NaCl со средним диаметром частиц 0,58 мкм. ФМ имели пористость 94%, поверхностную плотность 15 мг/см² и толщину 3 мм, скорость потока составляла 10 см/сек. Помимо волокнистых электростатических материалов, были исследованы незаряженные волокнистые ФМ. Видно, что заряженные материалы по эффективности очистки соляного аэрозоля превосходят неполяризованные волокнистые ФМ [5].

Таблица 1 – Сравнительная эффективность ФМ

Фильтр	Перепад давления, мм. вод. ст.	Коэффициент проникания NaCl, %
На основе полипропилена, электростатический	1,4/1,2	0,8/0,2
На основе полипропилена, незаряженный	1,8	35
Стекловолокно VFF65 («Фройденберг»)	4	45
Стекловолокно 147 («Воукс»)	12,1	1

Следует отметить, что волокнистые melt-blown ФМ могут быть применены в разных по конструкции и назначению средствах защиты органов дыхания – например, в фильтрующих противогазах, применяемых специалистами МЧС в зонах природных и техногенных катастроф, лесных пожаров и др. В экстремальных условиях тушения пожаров состав продуктов сгорания может оказаться достаточно сложным, а плотность дыма – аномально высокой. Вследствие этого технический ресурс фильтрующего патрона противогаза может быстро выработаться, что создаст опасность попадания в дыхательные пути частиц загрязнений, в том числе радиоактивных. Электростатический ФМ, примененный в составе фильтр-патрона противогазов, сможет на первой стадии очистки пропускать воздух без значительного сопротивления дыханию, но при этом осаждать широкий спектр дисперсных загрязнений [6]. Один из вариантов размещения электростатического ФМ в фильтрующем противогазе – установка его после адсорбционной загрузки и непосредственно перед дыхательным клапаном противогаза.

Совершенствование конструкций средств индивидуальной защиты органов дыхания также может быть осуществлено с целью защиты организма человека от дыма, содержащего специфические (например, радиоактивные) компоненты. Частицы, содержащие ионы радионуклидов, по своей природе являются электрически неравновесными объектами и

обладают избыточным электрическим зарядом, что дает основания надеяться на эффективный захват их электретыным фильтром. Внедрение этой идеи в практику будет способствовать повышению общей безопасности мероприятий, проводимых силами МЧС в местностях с высоким радиационным фоном. Однако в Беларуси производство средств индивидуальной защиты органов дыхания, оснащенных новыми электретыными ФМ, пока сдерживается рядом технологических и экономических факторов.

2. Фильтры для очистки жидкостей и многофункциональные фильтры

Фильтры для очистки жидкостей можно классифицировать в зависимости от природы фильтрующего слоя на:

- зернистые (ФМ – кварцевый песок, дробленый антрацит, керамзит, пенополистирол, магномасса и др.);
- сетчатые (фильтруют с помощью металлической сетки с размером ячеек 40 мкм);
- тканевые (ФМ – хлопчатобумажные, льняные, суконные, стеклянные или капроновые ткани);
- намывные (ФМ – древесная мука, диатомит, асбестовая крошка и другие материалы, намываемые в виде тонкого слоя на каркас из пористой керамики, металлической сетки или синтетической ткани).

Зернистые фильтры обычно применяют для очистки хозяйственно-питьевой и технической воды, сетчатые – для задержания низкодисперсных взвешенных частиц, тканевые – в устройствах полевого водоснабжения, намывные – для очистки воды на очистных станциях небольшой производительности (для агрогородков, сельскохозяйственных объектов, маломощных водонапорных башен, плавательных бассейнов и т.д.).

Из химически инертных ФМ наиболее распространен кварцевый песок, который до загрузки отмывается на специальных пескомойках и сортируется по критерию дисперсности. Его используют на скорых фильтрах, двухпоточных фильтрах конструкции АКХ и контактных осветлителях. Аналогичную кварцевому песку высокую механическую прочность и химическую стойкость имеет дробленый антрацит. Исследование дробленого антрацита в качестве ФМ показало, что при одинаковых эффективных диаметрах зерен и близких коэффициентах неоднородности объемная масса антрацита меньше, а пористость больше, чем песка. Грязеемкость антрацитового фильтра превышает грязеемкость песчаного на 13–14 %, а интенсивность промывки при 50 % расширении вдвое ниже. Потери напора на антрацитовом фильтре примерно на 16 % меньше, чем на песчаном. В качестве фильтрующих загрузок зернистых фильтров могут использоваться и другие материалы: стеклянная, фарфоровая и керамическая крошка, песок из керамзита, зольного аглопорита, доменного шлака, шлаковой пемзы. Фильтрующие свойства и пористость доменного шлака выше, чем песка, однако механическая прочность – ниже.

Из химически активных фильтрующих материалов широко применяются мраморная крошка и магномасса (при стабилизационной обработке воды), активированный уголь (для удаления привкусов и запахов), а также диатомиты (аморфный кремнезем). В состав природного кремнезема входит 74–75 % кремниевой кислоты, 15–16 % полуторных оксидов, 3–4 % CaO и MgO. Диатомит имеет аморфное строение, малую прочность, легко истирается и дробится [6].

Как частный случай необходимо рассматривать фильтры, применяемые для очистки нефтяных масел. Такие фильтры весьма разнообразны и различаются по фильтрационным показателям, физико-механическим свойствам, химическому составу, способам изготовления и т.д. Различают ФМ для грубой очистки, обычно обеспечивающие тонкость фильтрования более 70–100 мкм; ФМ, обеспечивающие среднюю тонкость очистки (от 20 до 60 мкм); ФМ для тонкой очистки (от 5 до 20 мкм). Такое деление является весьма условным, т.к. тонкость фильтрования обычно зависит от условий применения масла конкретного сорта. Также известно разделение ФМ на сжимаемые и несжимаемые. Сжимаемость

материала (способность изменять объем при изменении перепада давления) существенно влияет на его гидравлические характеристики.

ФМ также можно подразделять на гибкие и негибкие. Это позволяет охарактеризовать не только механические свойства материала, но и принцип его работы, поскольку от рассматриваемого показателя непосредственно зависит конструкция фильтра. Данная классификация дополняет традиционное деление ФМ на поверхностные и объемные. Считается, что материалы поверхностного действия имеют толщину всего в несколько раз больше, чем размер задерживаемых ими частиц, и задерживают эти частицы на своей поверхности, а материалы объемного действия имеют толщину на несколько порядков больше, чем размер задерживаемых ими частиц, оседающих главным образом в глубине материала. Однако большинство применяемых в настоящее время ФМ (картон, ткани значительной толщины, нетканые материалы) нельзя однозначно отнести к какому-либо одному из этих видов. Тем самым, на первый план выходят выработка критериев «гибкости» ФМ и их физический смысл. Наряду с ФМ, для которых эти критерии применимы, в фильтрах широко используют разнообразные порошки – металлические, минеральные, керамические, металлокерамические, пластмассовые, стеклянные и т.п., в том числе в несвязанном виде, а также в насыпных и намывных вариантах [8].

В Институте механики металлополимерных систем НАН Беларуси (г. Гомель) разработаны научные методы адаптации технологии аэродинамического формирования волокон к получению высокоэффективных ФМ для очистки сложносоставных многофазных сред. Основные направления адаптации – придание волокнам электростатического заряда, введение магнитоактивных добавок, наполнение физико-химически активными веществами, создание в ФМ градиента плотности и пористости. ФМ могут быть получены в различных конструктивных вариантах (рисунок 2).



Рисунок 2 – Виды изделий

С применением данной технологии в Гомельской области работает несколько предприятий, одним из видов продукции которых являются волокнистые melt-blown ФМ; среди них – СКТБ «Металлополимер», ООО «Полимер», НТЦ «ЛАРТА», НТЦ «Спецфильтр», УП «Фабрика фильтров», ООО «ЛАРТА Текнолоджи» (Россия). Из производимой продукции выделяются два основных класса, различаемых по принципу действия: заградительные и коалесцирующие фильтры. Объемные ФМ из полипропилена и полиэтилена обладают химической стойкостью к воздействию агрессивных веществ и низкой склонностью к набуханию (0,2–2,0 % в щелочах, кислотах и ацетоне, 3,0–10,0 % в нефтепродуктах). Высокие показатели механической прочности полипропилена (разрушающее напряжение при растяжении 24,5–39,0 МПа) позволяют использовать его не только как ФМ, но и как элемент несущей части конструкции фильтра (металлический каркас заменяется каркасом из грубых волокон полипропилена, термически соединенных в точках пересечения друг с другом). Это обеспечивает непрерывность технологического

процесса изготовления ФМ, исключает необходимость не всегда оправданного применения дорогостоящих нержавеющей сталей. Сополимеры на основе полипропилена имеют температуру охрупчивания до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и используются для изготовления фильтров, работающих в низкотемпературных условиях.

Объемные ФМ с низким гидравлическим сопротивлением, высокой тонкостью очистки и большой грязеемкостью используют для очистки природного газа. Создание градиента размера пор по глубине от 5 мкм до 50 мкм позволяет совместить в одном фильтре несколько этапов фильтрации – например, от механических примесей, масляного тумана и водяных капель. Для ФМ тонкой очистки светлых нефтепродуктов и минеральных масел с тонкостью фильтрации 5 мкм в ходе испытаний на Оршанской ТЭЦ установлено, что они эффективно очищают содержащее воду масло 17 класса (ГОСТ 17216) до 14–13 класса [9].

Важным практическим приложением волокнисто-пористых ФМ следует признать аварийную фильтроадсорбционную очистку водоемов, которые могут быть загрязнены традиционными отходами промышленного производства и продуктами природных и техногенных катастроф. Очистка заключается в сборе разлитых по поверхности воды не смешивающихся с ней органических жидкостей (нефти и нефтепродуктов, а также других органических веществ). Melt-blown фильтрующие материалы образованы липофильными полимерными волокнами, за счет чего обладают свойством извлекать из воды эмульгированные маслянистые вещества. Изготовленные в виде рулонов, матов, плавающих подушек, melt-blown фильтроадсорбенты служат для удаления нефти с поверхности воды, защиты берегов водоемов и сбора вытекших на почву нефтепродуктов при аварийных ситуациях на предприятиях и транспорте. Отработанные волокнистые адсорбенты легко утилизируются. Помимо нескольких общеизвестных способов утилизации ФМ, перспективу представляет экструзионная переработка их в гранулы с последующим повторным формированием волокон. Экспериментально установлено, что melt-blown материалы с электретыми и магнитными свойствами обладают нефтеудерживающей способностью в статических условиях до 50 г/г и степенью извлечения из воды эмульгированных маслянистых веществ не менее 90 % [4], превосходя большинство известных адсорбционных фильтрующих материалов.

Немаловажной проблемой фильтрующих материалов является их утилизация. Наиболее распространенным методом обезвреживания полимерных отходов является термический, к которому в числе прочих относят сжигание. Сжигание осуществляется в тепловых установках различных конструкций при температуре не менее $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. В результате сгорания органической части отходов образуются диоксид углерода, пары воды, твердые частицы, оксиды азота и серы, оксид углерода и ряд прочих загрязняющих веществ. Зола и шлак, имеющие в своем составе примеси тяжелых металлов, накапливаются в тепловой установке и периодически вывозятся на полигон для захоронения или используются в производстве строительных материалов. Сжигание отходов пластмасс чаще всего осуществляют так, чтобы теплота, выделяющаяся при горении, расходовалась на получение пара для обогрева или технологических нужд и электроэнергии. Калорийность такого топлива невелика, и работающие на нем тепловые установки, как правило, неэффективны [10].

Melt-blown фильтрующие материалы обладают целостной структурой и высокой поглощающей способностью. Исследования показали, что при разрушении структуры методом дробления, поглощающая способность таких материалов увеличивается. Следовательно, израсходованные melt-blown фильтрующие материалы можно использовать повторно в качестве наполнителя фильтров для очистки воды. Таким образом, увеличивается экономическая эффективность применения данных материалов.

Выводы. Анализ представленной информации позволяет сделать вывод, что существующие ФМ в основной своей массе являются фильтрами узконаправленного действия. Фильтры многофункционального назначения более дорогостоящи и требуют более тонких технологических подходов, что видно на примере полимерных волокнистых ФМ.

Сохраняет актуальность разработка на отечественной сырьевой и технологической базе новых разновидностей многофункциональных фильтрующих материалов, которые бы не уступали по эксплуатационным характеристикам зарубежным аналогам и были способны эффективно защищать экосистемы от вредного воздействия продуктов ЧС.

Перспективы дальнейших исследований.

Наиболее перспективным направлением в разработке многофункциональных ФМ представляется совершенствование технологии melt blowing, дополненной операциями, адаптированными к формированию полимерных волокнисто-пористых систем с повышенной физической (например, электрической) и физико-химической активностью по отношению к фильтруемым средам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фильтрующие материалы, применяемые в целях предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций /Зуборев А.И., Кравцов А.Г. //Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013.- №1(8). – С. 55-63.
2. Классификации фильтров используемых в системах вентиляции и кондиционировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rtf-info.ru/venntfiltri.html>
3. Волокнистые фильтрующие материалы ФП / И.В. Петрянов [и др.]. – М.: Знание, 1968. – 78 с.
4. Полимерные волокнистые melt-blown материалы / В.А. Гольдаде [и др.]; под науч. ред. Л.С. Пинчука. – Гомель: ИММС НАНБ, 2000. – 260 с.
5. Кравцов, А. Г. Полимерные электретынне фильтроматериалы для защиты органов дыхания / А.Г. Кравцов, В.А. Гольдаде, С.В. Зотов; под науч. ред. Л. С. Пинчука. — Гомель: ИММС НАНБ, 2003. – 204 с.
6. Кравцов, А.Г. Полимерные волокнистые фильтры для преодоления экологических последствий чрезвычайных ситуаций / А.Г. Кравцов, С.А. Марченко, С.В. Зотов. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2008. – 280 с.
7. Классификации фильтров, фильтрующие материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aqua-life.com.ua/news/book/technologiya_ochistki_vodi/klassifikaciya_filtrov_materialov.html
8. Классификация фильтрующих материалов для очистки нефтяных масел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tehmasla.comnwww.tehmasla.com/spravochnik/ochistka_masel/ochistka_filtrovaniem/klassifikatsiya_filtroyushchikh_materialov/
9. Фильтры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lartagroup.com/filters/>
10. Оценка экологической опасности утилизации отработанных фильтрующих материалов очистных сооружений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bsc.by/story/ocenka-ekologicheskoy-opasnosti-utilizacii-otrabotannyh-filtruyushchih-materialov-ochistnyh>