**Филатов, Юрий Николаевич.**

## Электроформирование волокнистых материалов : ЭФВ-процесс : диссертация ... доктора химических наук в форме науч. докл. : 02.00.04. - Москва, 1998. - 55 с. : ил.; 20х15 см.

## Оглавление диссертациидоктор химических наук в форме науч. докл. Филатов, Юрий Николаевич

Актуальность. Интерес к осуществленному впервые в 1938 году в НИФХИ им.Л.Я.Карпова И.В.Петряновым, Н.Д.Розенблюм и Н.А.Фуксом ЭФВ-процессу - наукоемкой промышленной технологии электроформования химических волокон, определяется высокой конкурентной способностью ее продукции в приоритетных областях промышленности. Это хорошо известные нетканые микроволокнистые материалы ФП (фильтры Петрянова) и их аналоги, которые, благодаря своей уникальной разделительной способности, широко используются в сфере защиты окружающей среды и охраны здоровья населения, а в последнее времяи в современных стратегических и престижных технологиях - атомной, аэрокосмической, приборостроении, информационных и медицинских, в производствах особо чистых материалов, лекарственных средств и продуктов питания.

ЭФВ-процесс является сухим бесфильерным способом, в котором формование из полимерных растворов жидких нитей, перенос образуемых из них при испарении растворителя волокон на противоэлектрод и формирование на нем волокнистого материала происходит одновременно, непрерывно и в едином рабочем пространстве. Поэтому возможность их применения напрямую зависит от управления ЭФВ-процессом, выбора сырья и оборудования, технологических параметров и режимов процесса получения. Очевидно, что пределы достижимого здесь определяются состоянием теоретической базы ЭФВ-процесса, знанием его механизмов и управляющих ими физических законов, и основанных на них технологических приемах. Однако, из-за прикладного характера и интересов военно-промышленного ком-| плекса, в рамках которого производилась и преимущественно ис-| пользовалась продукция ЭФВ-процесса, теоретическая база этой перспективной технологии отстала и оказалась недостаточ-\ ной для реализации ее широких потенциальных возможностей, ! как в части управления микроструктурой волокнистой продукции, I так и в части расширения ассортимента волокнообразующих по-I лимеров, способных обеспечить ей выдвигаемые временем ноГ вые заданные функциональные и улучшенные эксплуатационные ' свойства - термохемостойкость, способность к физической и химической сорбции, ионному обмену и др. Ограниченность теоре-; тической и, как следствие, сырьевой базы сказывается отрица-| тельно на экономике ЭФВ-технологии и ограничивает возможно сти снижения его производственной и экологической опасности. Поэтому дальнейшее развитие теоретической базы ЭФВ-процесса является актуальной научной задачей, решение которой обеспечит не только сегодняшние и будущие потребности в новой продукции ЭФВ-процесса, но и выживаемость самой этой уникальной и перспективной технологии в жестких условиях свободного рынка. Одновременно существенно облегчается решение и другой престижной для России актуальной научной задачи - обобщения, систематизации и сохранения для будущих поколений накопленного 60-летнего научно технологического отечественного опыта использования ЭФВ-процесса.

Основная цель работы состояла в развитии теоретической базы ЭФВ-процесса, как фундамента для совершенствования промышленной технологии получения волокнистых материалов ФП -расширения сырьевой базы производства, ассортимента и сферы применения продукции, а также для систематизации накопленного в этой области научного и инженерного задела в обобщающей его монографии.

Научная новизна. Обнаружено, что формование из полимерных растворов жидких нитей в ЭФВ-процессе происходит в два этапа - продольного ускорения первичной материнской струи и поперечного ее расщепления на множество дочерних жидких нитей. Обьяснены парадоксы сверхзвуковых скоростей образования волокон и избытка их кинетической энергии над подводимой. Указана причинная связь между расщеплением струй, характером спектра диаметров волокон в ЭФВ-продукции и свойствами ее микроструктуры. Определены абсолютные значения тензоров натяжения и скоростей деформации жидкости в первичной струе и кратности ее расщепления. На основе приближенных электрогазодинамических моделей выявлено влияние межэлектродного пространственного электрического заряда на формование жидких нитей и перенос образуемых из них при испарении растворителя волокон на осадительный электрод. Рассчитана и экспериментально подтверждена вольтамперная характеристика ЭФВ-процесса, определена скорость дрейфа жидких нитей, контролирующая кинетику их отверждения, и оценена роль униполярного коронного разряда с первичной струи, с дочерних жидких нитей и с образующихся из них волокон. Показано, что залогом однородной микроструктуры волокнистой продукции ЭФВ-процесса является искровой механизм переноса электрического заряда с нее на осадительный электрод, осуществляемый случайными по площади волокнистого слоя и времени электронными лавинами. Теоретически описан и экспериментально подтвержден взаимно противоположный экстремальный характер изменения мощности и средней частоты лавин и их способности к образованию в продуцируемом слое микроструктурных дефектов. Сформулированы центральная задача ЭФВ-технологии о целевом выборе исходных систем полимер-растворитель, требования к сырью и предложены критерии их выбора, обеспечивающие воспроизводимый устойчивый и безопасный ЭФВ-процесс и заданные свойства его продукции. Выявлена стабилизирующая и активирующая роль макромоле-куляркого фактора в ЭФВ-процессе. Экспериментально установлены зависимости реологических свойств используемых в нем систем полимер-растворитель и характер их отклика на деформирующее воздействие (ньютоновская, характеристическая и структурная вязкости, вязкоупругость, высокоэластичность) от температуры, концентрации, массы, жесткости цепи макромолекул, степени и характера их взаимодействия с растворителем. Установлена соизмеримость характерных для ЭФВ-процесса малых (менее 1 мс) времен деформации этих довольно разбавленных систем и релаксации их реологических свойств, облегчающих переход капельного течения в стационарную первичную струю, демпфирующих ее ускорение и провоцирующих расщепление.

Практическая ценность работы определяется главным образом достигнутым в ней уровнем представлений о механизмах ЭФВ-процесса, определяющих их законах и потенциальными возможностями использования последних для выбора сырья и оптимизации технологического оборудования, параметров и режимов этого процесса, эффективного управления им и свойствами его волокнистой продукции. Конкретными объектами практической реализациями этих возможностей в данной работе являются:

1. Расчетные формулы, диаграммы и таблицы данных для прогноза: а) критических параметров перехода капельного течения в струйное, 6) силовых и скоростных характеристик первичной струи, в) ее продольного профиля, г) тока коронного разряда с нее, д) вольтамперной характеристики ЭФВ-процесса, е) временного хода и допустимых пределов частотной и энергетической характеристик искрового разряда с формируемого волокнистого слоя и ж) прогноза его микроструктуры;

2. Расширение сырьевой базы, ассортимента и сферы применения волокнистой продукции ЭФВ-процесса: успешное опробование в нем термохемостойких и сшивающихся полимеров и оли-гомеров (полиарилата, полисульфона, полиимида, полиарилида, политрифторстиропа, других фторполимеров и сополимеров, фе-нольной смолы и ее композиций с поливинилбутиралем), и более технологичных растворителей (ацетона, циклогексанона, хлористого метилена, диметилформамида и др.), испытания и оценка эффективности применения и эксплуатационной надежности новой волокнистой продукции;

3. Осуществление промышленного производства и применения новых видов ЗФВ-продукции - термохемостойких материалов - ФПФС, ФПАД и ФПСФ для бактериальной очистки воздуха в производстве продуктов питания, антибиотиков и других микробиотехнологиях, гидроустойчивых материалов ФПП-Ж (Ж—1 и Ж-5) для тонкой очистки парфюмерных и особочистых жидкостей и двух материалов ФПП и ФПС с улучшенной микроструктурой для использования в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и высокоэффективных аэрозольных фильтрах.

Практическая ценность работы дополняется тем. что она представляет собой опубликованную монографию, в которой систематизирован и обобщен уникальный в мировой практике 60-летний отечественный научно-исследовательский и инженерный задел в ЭФВ-технологии. Монография адресована не только научным и инженерно-техническим работникам, занятым в сфере производства и применения волокнистых материалов, но и более широкому кругу читателей, практикующих а сфере охраны окружающей среды и здоровья населения, - экологам, менеджерам, врачам, гигиенистам, экспертам, контролерам и работникам федеральных и муниципальных государственных учереждений, а также студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

Автор защищает следующие механизмы и теоретические модели ЭФВ-процесса и связанные с ним результаты расчетов, экспериментов и разработок:

1. Двухэтапность механизма формирования жидких струй и нитей и ее отражение в микроструктуре материалов ФП;

2. Теоретические модели и формулы для прогноза вольтам-перной характеристики и влияния пространственного электрического заряда жидких струй, нитей и волокон на условия их формования, перенос, и на межэлектродное напряжение.

3. Предпочтительную роль искрового механизма разрядки волокон на осадительном электроде, причины и характер влияния частотно-энергетических характеристик разрядов на микроструктуру и однородность толщины ЭФВ-продукции;

4. Решающую роль в ЭФВ-процессе и свойствах его продукции макромолекулярного фактора, реализующуюся в стимуляции перехода капельного течения полимерного прядильного раствора в первичную стационарную струю, в сохранении ее неразрывности при жестком ускорении, в облегчении последующего расщепления и в возможности управления этими процессами через спектры молекулярной-массы полимеров, гибкость их цепи и характер взаимодействия их с растворителями.

5. Критерии выбора исходных систем полимер-растворитель и дополнительных приемов их переработки в волокнистую продукцию с заданными функциональными и эксплуатационными свойствами.

6. Результаты экспериментальных исследований реологических свойств исходных систем полимер-растворитель, структурных, функциональных и эксплуатационных свойств полученных из них новых термохемостойких, гидростойких и композиционных волокнистых материалов ФП и запатентованные способы их получения

Апробация работы. Полученные в работе результаты докладывались и обсуждались на 3-ей Всесоюзной конференции по аэрозолям (г.Ереван, 19 77), Всесоюзном совещании по обеспечению стерильности процессов биосинтеза (г.Пенза, 1978), Конференции молодых ученых по проблемам физической химии (Москва, 1978), Всесоюзной конференции по защите воздушного бассейна от загрязнений (Москва, 1981), 4-ой Всесоюзной конференции по аэрозолям (г.Ереван, 1982), 2-ом Съезде фтизиато-ров Казахской ССР (г.Алма-Ата, 1982), 9-ой Конференции молодых ученых в области химии высокомолекулярных соединений (г.Уфа, 1983), 2-ой Международной конференции по чистым объемам (г.Дрезден ГДР, 1983), 22-ой Всесоюзной конференции по высоко-молекулярным соединениям (г.Алма-Ата, 1985), 7-ой Всесоюзной конференции по методам получения и анализа высокочистых веществ (г.Горький, 1985), 18-ом Международном конгрессе "КХГ" (г.Белград СФРЮ, 1987), ХУ-ом Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (Симпозиум "Радиоэкологические проблемы в ядерной энергетике и при конверсии производства", г.Обнинск, 1993), Международном симпозиуме "Фильтровальные нетканые материалы" (г.Серпухов, 1993), Международном аэрозольном симпозиуме (Москва, 1994), Конкурсах Научно-исследовательского физико-химического института им. Л.Я.Карпова (Москва, 1976-97). Отдельные этапы работы отмечены серебряной медалью ВДНХ (1983) и премиями Московского Комсомола (1979) и Ленинского Комсомола (1983).

Публикации и патенты. Всего по теме диссертации опубликовано 22 работы (в том числе 1 монография) и получено 29 авторских свидетельств и патентов.

Структура и объем работы. Работа включает монографию и приложение.

Монография содержит введение и четыре главы. Первая

глава посвящена механизмам основных стадий ЭФВ-процесса. Рассмотрена его принципиальная схема, электрогидродинамические модели образования, разгона и расщепления заряженной вязкой слабопроводящей первичной струи полимерного раствора, электрогазодинамические модели переноса дочерних жидких нитей и образующихся из них волокон на осадительный электрод и формирования из них нетканого волокнистого материала. Вторая

глава посвящена роли в ЭФВ-процессе макромолекулярного фактора. В ней описаны реологические свойства используемых во-локнообразующих полимерных растворов, релаксационный характер этих свойств и обусловленное ими влияние химической природы и характера взаимодействия компонентов системы полимер-растворитель на ЭФВ-процесс. Предметом третьей главы является технологический опыт, накопленный при получении волокнистых материалов ФП. Описаны принципиальная и аппаратурная схемы и характер производства, оборудование, критерии целевого выбора сырья, сам технологический процесс, его варианты и особенности, стабильность и управляемость, способы контроля технологических параметров и качества продукции. Последняя, четвертая

глава иллюстрирует разнообразие функциональных и эксплуатационных свойств волокнистой продукции ЭФВ-процесса, рассматривает уже освоенные и прогнозирует перспективные области ее применения. Каждая из глав завершается заключением, в котором даны оценки достигнутого по рассмотренным вопросам уровня теоретических представлений и практического опыта и предложены возможные сценарии их дальнейшего развития. В заключении к последней главе дается интегральная оценка полезности ЭФВ-процесса - его особенностей преимущественного характера, потенциальных возможностей, роли в решении приоритетных задач охраны окружающей среды, здоровья населения и развития новейших престижных и стратегических »технологий . Объем монографии - 14 усл.печ.л., включающих 297 стр., 124 иллюстр., 20 табл. и 212 лит. ссылок.