

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВЫСТУПЛЕНИЯ. ВОСПОМИНАНИЯ	7
Карповский институт и И.В. Петрянов. <i>Артамонов Н.А.</i>	9
Выдающийся ученый-физикохимик И.В. ПЕТРЯНОВ. <i>Дюмаев К.М.</i>	15
Воспоминания об Игоре Васильевиче. <i>Засухина-Петрянова Г.Д.</i>	17
Идеи, мысли и дела Игоря Васильевича. <i>Басманов П.И.</i>	24
И.В. Петрянов и советский Атомный проект. <i>Огородников Б.И.</i>	49
ОБЗОРНЫЕ ДОКЛАДЫ	83
Электроформование микро- и нановолокнистых материалов ФП. <i>Филатов Ю.Н.</i>	85
Корреляционные связи между элементным и дисперсным составом атмосферного аэрозоля на участке Москва-Владивосток. <i>Андропова А.В.,</i> <i>Иорданский М.А., Минашкин В.М., Невский И.А., Обвинцев Ю.И.,</i> <i>Трефилова А.В.</i>	102
50 лет поисков и свершений. Развитие работ в лаборатории аэрозолей академика И.В. Петрянова. Вторая половина XX века. <i>Садовский Б.Ф.</i> ..	128
Памяти Владимира Ивановича Козлова. К 75-летию со дня рождения. <i>Садовский Б.Ф.</i>	142
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПОЛУЧЕНИЯ МИКРО- И НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ФП МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ (ЭЛЕКТРОСПИНИНГА)	145
Новые фильтрующие материалы ФП для средств индивидуальной защиты органов дыхания. <i>Филатов Ю.Н., Бudyка А.К. Филатов И.Ю.,</i> <i>Мамагулашвили В.Г.</i>	147
Некоторые результаты наблюдений коронирования и пробоя в электрическом поле с изолированными и электропроводящими волокнами. <i>Супрун Н.Н., Свиридов В.Ф.</i>	154
Использование эластомеров в качестве добавок при получении волоконистых материалов. <i>Филатов И.Ю., Небратенко М.Ю.,</i> <i>Филатов Ю.Н., Наумова Ю.А.</i>	165

Исследование волокнистого материала на основе полисульфона, полученного способом электроформования. Гуляев А.И., Филатов Ю.Н., Будыка А.К., Мамагулашвили В.Г.	176
Структурные модификации волокнистых материалов ФП. Дружинин Э.А.	190
СРЕДСТВА, МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ АЭРОДИСПЕРСНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СИСТЕМ	203
Диффузионный спектрометр для диагностики наночастиц в газовой фазе. Загайнов В.А., Бирюков Ю.Г., Лушников А.А.	205
Испытания респираторов из ФПП по методикам, принятым в гармонизированных стандартах. Коробейникова А.В.	220
Нановолокнистый материал ФП для контроля радиоактивных аэрозолей. Филатов И.Ю., Филатов Ю.Н., Будыка А.К., Мамагулашвили В.Г., Мартынюк Ю.Н.	220
Очистка генерированных в щелочных электролизерах водорода и кислорода от щелочи. Андреев Б.М., Магомедбеков Э.П., Пак Ю.С., Розенкевич М.Б., Сахаровский Ю.А.	234
Исследование взаимодействия микроволокнистых фильтрующих материалов ФП, содержащих полистирол, с озоном. Климук А.И., Обвинцева Л.А., Шепелёв А.Д., Ушакова Е.Н., Кучаев В.Л., Томашпольский Ю.Я., Садовская Н.В., Козлова Н.В., Дмитриева М.П., Аветисов А.К.	243
Применение материалов ФП для фильтрации жидкостей. Садовский Б.Ф., Шепелёв А.Д.	256
Использование отходов изделий на основе материалов ФП. Котова С.В., Люсова Л.Р., Филатов Ю.Н.	263
Разработка, промышленный выпуск, области применения фильтров АФА Басманов П.И.	268

СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ И ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ АЭРОДИСПЕРСНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ПРИМЕСЕЙ..... 283

Использование фильтрующего материала ФП для создания комплексного средства индивидуальной защиты. <i>Подплетнева Г.В., Астахов В.С., Коробейникова А.В.</i>	285
Разработка и применение метода определения локализации и подсоса загрязненного воздуха в подмасочное пространство с помощью люминесцирующих аэрозолей. <i>Мионов Л.А., Егорова Г.И.</i>	291
Ресурсные испытания опытно-промышленных фильтров с тканями Петрянова. <i>Ровный С.И., Пятин Н.П., Алексеев Ю.Г. Транчук О.А., Пузанов Л.А., Максимов В.Е.</i>	306
Физиологические испытания фильтрующих СИЗОД на основе материалов ФП <i>Каминский С.К.</i>	311
Разработка и производственные испытания модифицированных трудногорючих фильтров на основе стеклобумаги. <i>Глаголенко Ю. В., Ровный С.И., Пятин Н.П., Транчук О.А., Афанасьева Е. В.</i>	319
Респиратор бескоробочный на основе новых фильтро-сорбирующих материалов. <i>Зарипов И.Н., Шупленко О.Г., Байрамова В.Р., Фатхутдинов Р.Х.</i>	324
АНТРОПОГЕННЫЕ АЭРОЗОЛИ. УЛАВЛИВАНИЕ И АНАЛИЗ ..	327
Радиоактивные аэрозоли в выбросах из объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС в 2001-2006 гг. <i>Огородников Б.И., Будыка А.К., Краснов В.А., Хан В.Е.</i>	329
О некоторых особенностях фильтрации воздуха на предприятиях с ядерными технологиями. <i>Кириш А.А., Александров П.А., Кириш В.А.</i>	340
Легкоозоляемые фильтрующие материалы ФП на основе полистирола и полиметилметакрилата. <i>Капустин И.А., Огородников Б.И., Филатов Ю.Н., Мамагулашвили В.Г., Филатов И.Ю.</i>	344

Изучение локализации радиоаэрозолей CsI из газовой фазы различными фильтрующими элементами. <i>Кулемин В.В., Кулюхин С.А., Михеев Н.Б., Мелихов И.В., Румер И.А., Богачев Е.Н.</i>	358
Моделирование процесса тонкой очистки газов фильтрами из пористых волокон. <i>Кириш В.А.</i>	375
Определение соединений свинца (II) в выбросах автотранспорта. <i>Савенко Г.И., Стручаев А.И., Копыт Н.Х.</i>	384
Экспериментальное и теоретическое моделирование испарения капель в атмосфере, содержащей химически активные добавки. <i>Обвинцев Ю.И., Минашкин В.М., Нужный В.М.</i>	392
Физико-химические аспекты влияния аэрозолей на глобальный и региональный климат. <i>Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М., Обвинцев Ю.И.</i>	407
Новые способы очистки воздушных газовых выбросов. <i>Борисов Н.Б.</i>	423
Авторский указатель.	429

19 июня 2007 г.

Заседание в «Синем зале» Президиума РАН

**ВЫСТУПЛЕНИЯ.
ВОСПОМИНАНИЯ**

КАРПОВСКИЙ ИНСТИТУТ И И.В. ПЕТРЯНОВ

Артамонов Н.А.

Директор ФГУП «ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»

Глубокоуважаемые коллеги, друзья!

Сегодня мы отмечаем замечательную дату – 100-летие со дня рождения выдающегося ученого, защитника природы и человека, популяризатора науки Героя Социалистического труда, лауреата Ленинской и Государственных премий академика Игоря Васильевича Петрянова-Соколова.

Прежде всего, необходимо сказать, что вся трудовая жизнь Игоря Васильевича проходила в стенах нашего института. В его трудовой книжке есть только одна запись: зачислен в ФХИ им. Л.Я. Карпова 23 сентября 1929 года в качестве младшего химика. Младший химик – заместитель заведующего – заведующий лабораторией – заведующий отделом – такова служебная “дорога” Игоря Васильевича в институте. Дорога становления, развития новых направлений в физической химии в области аэродисперсных систем, процессов их фильтрации и создания уникальных материалов из полимерных ультратонких волокон.

Игорь Васильевич являлся представителем славной когорты ученых, сделавших Карповский институт крупнейшим научным центром химической промышленности. Среди его коллег – академики Х.С. Багдасарьян, В.А. Каргин, Я.М. Колотыркин, К.А. Кочешков, С.С. Медвадев, А.Н. Фрумкин и другие.

Лаборатория аэрозолей, созданная в 1932 году и состоявшая из трех сотрудников (руководитель Н.А. Фукс), к 90-ым годам выросла в отдел из пяти лабораторий, насчитывающий свыше 100 человек. Этот количественный рост определялся, прежде всего, важностью и

необходимостью работ, выполняемых отделом под руководством Игоря Васильевича.

Основные направления включали следующие научные, экспериментальные и практические работы:

- фундаментальные исследования электрических свойств аэродисперсных систем,

- изучение специфических физико-химических свойств радиоактивных аэрозолей,

- совершенствование принципиально нового способа получения ультратонких полимерных волокон,

- разработка технологии и организация крупного промышленного выпуска фильтрующих материалов ФП (Фильтр Петрянова),

- изучение свойств волокнистых фильтрующих материалов и выявление закономерностей фильтрации аэродисперсных систем,

- разработка фильтрующих и сорбционно-фильтрующих материалов целевого назначения,

- разработка средств улавливания и контроля аэродисперсных и газообразных примесей в воздухе и газах (фильтры, респираторы, аналитические фильтры, аналитические ленты и т.д.),

- разработка методов и аппаратуры для анализа (контроля) аэродисперсных систем,

- развитие теоретических исследований и экспериментальных работ в области процессов образования конденсационных аэрозолей и получения их с заданными свойствами,

- разработка материалов, средств очистки и контроля жидких средств (воды, кислот, щелочей, авиационного топлива и др.)

- разработка из волокнистых пористых материалов сепараторов для химических источников тока,

- организация и проведение Всесоюзных и отраслевых конференций, семинаров, совещаний по теоретическим и прикладным вопросам аэродисперсных систем и методов их контроля и улавливания, а также технологии производства и применения материалов ФП,

- оказание научной, научно-технической и практической помощи организациям по созданию подразделений (отделов, лабораторий, секторов) для работ в области газоочистки.

Эти и другие работы сделали отдел аэрозолей головным научно-исследовательским и методическим центром в области изучения свойств аэродисперсных систем, разработки методов и средств защиты от них, а также создания фильтрующих полимерных материалов из ультратонких или, как говорят сегодня, нановолокон.

О результатах и масштабах практического применения работ, выполненных в отделе аэрозолей можно судить по таким примерам.

Фильтрами с материалами ФП, используемыми для очистки воздуха (газа), выбрасываемого в атмосферу и содержащего радиоактивные и иные токсичные аэрозоли (АЭС, атомная, химическая и др. отрасли), или поступающего в технологическое оборудование, аппараты, помещения, требующие особой чистоты (электронная, медицинская, авиационная и др. отрасли), только в течение одного часа производится очистка около 1 млрд м³ воздуха.

Респираторами «Лепесток» и другими противоаэрозольными и пылегазозащитными респираторами с фильтрующим материалом Петрянова ежедневно обеспечивается защита более миллиона человек, занятых на особоопасных работах.

Оценка загрязненности воздуха аэродисперсными примесями на предприятиях в шахтах, цехах, населенных пунктах и свободной атмосфере на всей территории России производится с помощью аналитических фильтров и лент, изготовленных из материалов ФП.

По всем этим и другим направлениям Игорем Васильевичем с сотрудниками отдела аэрозолей и других организаций было опубликовано около 800 монографий, книг, статей и отчетов. Получено более 80 авторских свидетельств и патентов.

Признанием не только научных заслуг, но и достижений в области аэрозольного направления в нашей стране, руководимого Игорем Васильевичем, было избрание его в 1953 г. членом-корреспондентом, а в 1966 г. – действительным членом Академии наук СССР.

Трудно перечислить те области, которые волновали Игоря Васильевича и которым он отдавал свои силы и время. Он был выдающимся популяризатором научных знаний, инициатором создания безотходных технологий как технологий будущего, обеспечивающих охрану человечества и природы, страстным защитником культурного наследия и памятников Родины, главным “книголюбом” страны. Переоценить его вклад в эти и другие области невозможно. И сегодня приходится только удивляться, как один человек мог справляться с таким количеством разнообразных обязанностей.

Вот неполный перечень его ответственных постов: главный редактор «Коллоидного журнала», журнала «Химия и жизнь», третьего тома по физике и химии «Детской энциклопедии», научно-популярной серии «Ученые-школьнику», председатель Аэрозольной секции при НТС Минсредмаша, Секции «Средства индивидуальной защиты» ГКНТ при СМ СССР и ВЦСПС, Всесоюзного общества любителей книги, Научного совета по коллоидной химии и физико-химической механике, Секции научно-популярной литературы РИСО АН СССР, редакционного совета альманаха «Памятники отечества», член редколлегии журнала «Отчизна», газеты «Голос Родины», заместитель председателя Научного совета по охране природной среды и комплексному использованию ресурсов ГКНТ

при СМ СССР, член Ученого совета Карповского института и председатель Ученого совета отдела аэрозолей.

Сегодня трудно перечислить конференции, симпозиумы, совещания, заседания и пресс-конференции, где выступал Игорь Васильевич. Остановлюсь только на некоторых из них: Менделеевские съезды по общей и прикладной химии, Всесоюзные конференции по применению аэрозолей в народном хозяйстве, Всесоюзное совещание «Ядерно-физические методы анализа и контроля окружающей среды», Семинары по радиоактивным аэрозолям, Семинары по технологии и применению фильтрующих материалов ФП. Причем последние два семинара по инициативе Игоря Васильевича проводились в стенах нашего института.

Игорь Васильевич всегда считал, что институт для него – родной дом. Здесь его беспокоило буквально все: научные планы, организационные вопросы, создание новых лабораторий, изменение их структуры и профиля, строительство филиала института в Обнинске, состояние вспомогательных служб, уход за деревьями и посадками на территории и, главное, – люди.

Будучи добрым, умным и отзывчатым человеком он не удивлялся, когда к нему обращался кто-нибудь из сотрудников с просьбой. Иногда просили помочь достать лекарства, устроить родственника в больницу, разыскать редкую книгу, рассказать о месте предполагаемого отдыха, как сделать вино из одуванчиков и т.д. И он, несмотря на занятость, всегда откликался. Сотрудники института любили и уважали Игоря Васильевича. И то, что мы сегодня собрались здесь, – яркое подтверждение этой любви, любви к человеку, которого иногда называли ласково «Нашей бородой».

С 1967 г. в НИФХИ им. Л.Я. Карпова раз в два года проводятся Петряновские чтения. В этом году мы проводим уже Шестые юбилейные чтения, посвященные 100-летию со дня рождения Игоря Васильевича Петрянова-Соколова.

К этой знаменательной дате сотрудниками отдела аэрозолей подготовлены, а издательством «Наука» Российской академии наук выпущены в свет в серии “Памятники отечественной науки. XX век” «Избранные труды И.В. Петрянова-Соколов», а в серии “Материалы к биобиблиография ученых” – сборник «Игорь Васильевич Петрянов-Соколов».

Мы выражаем глубочайшую благодарность РАН за финансовую поддержку и возможность провести заседание, посвященное юбилею Игоря Васильевича, в этом замечательном зале и подарить участникам упомянутые выше книги.

Спасибо за внимание и активное участие в конференции.

ВЫДАЮЩИЙСЯ УЧЕНЫЙ - ФИЗИКОХИМИК И.В. ПЕТРЯНОВ

Дюмаев К.М.

Член-корреспондент АН СССР

Имя Игоря Васильевича как участника Атомного проекта я впервые услышал в конце пятидесятых годов. Выдающийся ученый избрал для себя важный раздел физической химии – науку об аэродисперсных системах. Им обстоятельно изучены фундаментальные закономерности образования и улавливания аэрозолей. Его отличает глубокое проникновение в физику и химию полимерных материалов, смелые инженерные решения. Созданный им электрокапиллярный метод получения сверхтонких волокон полимерных волокон позволил разработать промышленную технологию их производства. Так появились различные защищающие от воздействия аэрозолей устройства, в том числе лучший противогаз.

В 1960-ые годы и позднее И.В. Петрянов – в числе тех, чьим трудом и талантом реализовывался мощный прорыв по химизации национального хозяйства страны. Возникает острая необходимость создания безотходных и малоотходных технологий, комплексных химических производств с максимальным использованием всех компонент сырьевых потоков. Игорь Васильевич много и плодотворно работает. Идет широкое внедрение его разработок.

Приходит признание: Звезда Героя Социалистического труда, Ленинская премия, избрание в академики.

Растут масштабы забот и обязанностей. К редакторству «Коллоидного журнала» ему поручают создать новый журнал «Химия и жизнь». Его назначают Главным редактором, и он создает этот журнал. Его

избирают членом президиума Центрального Совета общества охраны памятников, истории и культуры. Много времени он уделяет изданию «Детской энциклопедии» и обществу книголюбов.

Мы познакомились с Игорем Васильевичем в начале восьмидесятых, когда он стал одним из руководителей Научно-технического совета по охране окружающей среды и комплексному использованию ресурсов ГКНТ при СМ СССР.

Глубокие и обширные знания в различных отраслях науки и техники делали его неизменным участником и незаменимым консультантом при принятии важнейших решений.

В повседневной жизни Игорь Васильевич был необыкновенно интеллигентным и доброжелательным человеком, умевшим дружить и умевшим высказывать несогласие и отстаивать свое мнение.

Для меня общение с ним было источником радости и школой. И теперь, при необходимости анализировать сложные задачи, когда аргумент является функцией большого числа переменных, я пользуюсь подходами, которые разрабатывались вместе с ним.

С каким удовольствием вспоминаются встречи с ним и в деловой, и в домашней обстановке. Каким же мудрым, интересным, многогранным и обаятельным он был!

Время, отодвигая нас от прошедшего, оставляет живущим самое главное, самое масштабное – то, без чего просто нельзя прожить.

Игорь Васильевич и поныне остается с нами.

Фильтры его имени и в наши дни обеспечивают защиту целых отраслей промышленности. Он продолжается в работах его учеников и в нашей благодарной памяти.

ВОСПОМИНАНИЯ ОБ ИГОРЕ ВАСИЛЬЕВИЧЕ

Засухина-Петрянова Г.Д.

Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН

Безотходная технология – и дома тоже

В начале 1960-х годов Игорь Васильевич и академик Николай Николаевич Семенов на научной конференции в г. Кемерово впервые представили на обсуждение принцип безотходной технологии, который заключался в создании комплексного производства и разработке новых технологических схем. Предусматривалось полное использование сырьевых потоков, основанных на замкнутых циклах, с возвратом или максимально возможным включением в процесс так называемых отходов.

Забавная история была с первым докладом Игоря Васильевича на эту тему в Кемерове. Они с Николаем Николаевичем приехали на конференцию, где Игорь Васильевич должен был рассказать о принципе безотходной технологии. Но накануне он заболевает, температура выше 40 градусов, теряет даже сознание. Что делать? Завтра – основной доклад. Врачи и слышать не хотят ни о каком докладе. Игорь Васильевич уговаривал их, но они не разрешили ему встать. В 10 часов утра Игорь Васильевич (закутанный) выезжает на конференцию, где делает доклад, лежа на кровати. В этот день прилюдно родился принцип безотходной технологии, горячо поддержанный Николаем Николаевичем Семеновым. Невозможно описать, сколько скепсиса, неверия, упреков выпало на долю Игоря Васильевича, пропагандировавшего эту идею.

Очень коротко попытаюсь объяснить принципы безотходной технологии со слов Игоря Васильевича. Дело в том, что объемы промышленной продукции, строительства, энергетики, транспорта удваиваются каждые $8 \div 10$ лет. Итог такого роста – загрязнение

окружающей среды. Например, с начала XX века загрязнение воздушного бассейна нашей страны возросло более, чем в 1000 раз, что полностью соответствует ходу возрастания экспоненты с периодом удвоения в 8 – 10 лет. Следовательно, пройдут еще 10 периодов удвоения роста промышленности, и произойдет загрязнение воздуха в миллион раз. Жить на Земле будет нельзя.

Другая задача – добыча сырья из недр Земли, исчисляемая многими миллиардами тонн. Из этого чудовищного количества сырья человечество использует для своих нужд приблизительно 1 – 2 %, а остальное в экологически искаженном виде выбрасывается в окружающую среду. Как решать эту проблему? Только – перестройкой промышленного производства на основе экологически допустимых, по возможности безотходных или малоотходных технологий.

Игорь Васильевич считал, что не надо перестраивать старые производства. Учитывая 8 – 10-летний период смены, необходимо строить новые предприятия, шахты и т.п. с учетом максимально замкнутого цикла или разработки научных подходов к утилизации “отбросов” для использования в других отраслях хозяйственной деятельности.

Страсти о невозможности осуществления принципа безотходной технологии улеглись тогда, когда в Женеве в 1980-х годах этот подход был утвержден как основной в проблеме охраны окружающей среды.

Принцип безотходной технологии Игорь Васильевич осуществлял и в домашних условиях. Когда мы покупали дыню, то он извлекал сердцевину, промывал зернышки, сушил их и потом отвозил на дачу, где высыпал в кормушку, сделанную для птиц. Зимой он копил семечки от яблок. Они также доставались птицам. Он старался не выбрасывать и кости от съеденной рыбы: собирал и сжигал в печке. В этом случае зола, используемая для удобрения, содержала фосфор, т.е. была более “питательной” для растений.

Наверное, это можно назвать апостольским служением Природе.

Для него главным было дело, а признание заслуг – необязательно

В 1984 г. Игорь Васильевич получил премию Калинги «За популяризацию научных знаний» (Международная премия ЮНЕСКО). После возвращения из Парижа, где вручалась эта премия, он сказал мне, что необыкновенно расстроился, увидев карту мира, всю испещренную данными о памятниках под эгидой и охраной ЮНЕСКО. Советский Союз был представлен одним огромным белым пятном. Прошло немного времени, и Игорь Васильевич говорит, что ему надо съездить в московский офис ЮНЕСКО. Помню, что он находился на проспекте Калинина (теперь Воздвиженка) примерно напротив Дома Дружбы. Я, естественно, ждала его в холле, и, когда через час он вернулся, то был очень радостный, сказав, что встретил полное понимание и уверен, что дело сдвинется с мертвой точки. Действительно, через некоторое время ему сообщили, что Красная площадь внесена в этот замечательный перечень памятников ЮНЕСКО. Кажется, это был первый прецедент, Сейчас, мягко, говоря, странно слышать призывы некоторых деятелей, жаждущих видеть Красную площадь без Мавзолея, построенного по проекту знаменитого архитектора Щусева и очень органично вписавшегося в ансамбль. При этом само сооружение является шедевром архитектурного искусства. По законам ЮНЕСКО перестраивать ничего нельзя.

Мне ничего не известно о том, знает ли кто-нибудь, что Игорь Васильевич был инициатором этой акции. Никогда не слышала, чтобы он кому-то говорил о Красной площади. Для него дело было главным, а о признании каких-то заслуг он не заботился.

Второй случай необыкновенной скромности Игоря Васильевича связан с “ядерной зимой”. Понятие “ядерной зимы”, которая наступила бы в результате атомной войны, неразрывно связано с именем академика

Никиты Николаевича Моисеева. В 1970 – 1980-х годах на эту тему были телемосты «СССР – США». Редкие газеты не писали об этом, как о триумфе советских ученых, доказавших жуткие последствия возможной ядерной войны и наступление “ядерной зимы”, практически почти губительной для всего человечества.

Игорь Васильевич был в приятельских отношениях с Н.Н. Моисеевым, человеком невероятной энергии, одним из организаторов Эколого-политологического университета, имеющим много заслуг в науке. Он часто с женой бывал нас дома, также как мы – у них. Когда Игорь Васильевич и Никита Николаевич удалялись для беседы, я, естественно, никогда не присутствовала при их разговоре. Но ни один из них никогда мне не говорили о том, что Игорь Васильевич (как и академик Георгий Сергеевич Голицын) был соавтором разработки проблемы “ядерной зимы”. Я узнала об этом только в 2007 году из доклада одного из учеников Игоря Васильевича. Сам он, хотя я невольно несколько раз говорила на эту тему, скромно умалчивал об участии в научных обоснованиях, послуживших основой для запрещения ядерных испытаний. Для него и в этом случае главным было дело, а признание его мало интересовало.

Третий случай – возрождение Казанского собора на Красной площади.

Когда храм был отстроен заново, то на доске были написаны слова о заслуге Б.Н. Ельцина, хотя на самом деле никакого отношения он к этому не имел. Архитекторы Виноградов и Журин, которые были авторами этого проекта и присутствовали на открытии и освящении Казанского собора, сказали Игорю Васильевичу, что не только они, но и вся общественность знает, кто был истинным подвижником и организатором этого восстановления.

На самом деле все началось в 1988 г., когда в храме Святого Власия в Гагаринском переулке праздновали день рождения Игоря Васильевича. Выступления друзей сменялись русской народной музыкой в исполнении

прекрасного, горячо любимого Игорем Васильевичем оркестра «Боян» под руководством Народного артиста СССР А.И. Полетаева. И вот на сцену поднимается архитектор О. Журин и дарит Игорю Васильевичу картину-реконструкцию Казанского собора, которая была создана архитектором Г. Макеевым и подарена П.Д. Барановскому – знаменитому архитектору-реставратору. Теперь эту картину вручают Игорю Васильевичу с горячей просьбой – содействовать возрождению Казанского собора на Красной площади и, тем самым, выполнить мечту-завещание П.Д. Барановского. Игорь Васильевич был растерян: такое наследство от Петра Дмитриевича и как же трудно что-либо сделать!

Немного истории. Казанский собор был построен на пожертвования князя Пожарского и его воинов в честь Казанской иконы Божьей Матери, с которой они победили поляков в освободительной войне 1612 г. Храм был освящен в 1913 г. и почитался как символ воинской славы.

При Екатерине Великой храм претерпел многие изменения не в лучшую сторону. Знаменитый “огненный” архитектурный стиль был заменен на безликую белую окраску, упрощены некоторые архитектурные детали. П. Д. Барановский решил сделать все для воссоздания храма в прежнем облике. Рано-рано утром привязывал себя к кресту собора, делал замеры, угадывая очертания переделанных древних кокошников, сводов. Он мечтал показать людям красоту древнего храма. Но, увы! В 1937 г. он увидел уничтожение Казанского собора. Остался только фундамент. Всю жизнь он мечтал возродить собор. Ведь у него были все чертежи, замеры, а главное – мечта!

И вот Игорь Васильевич стал во главе общественной комиссии по возрождению Собора.

Долго он не знал, что делать, с чего и как начать, к кому из высокого начальства обратиться. Однажды по своим научным делам нужно было

пойти к члену Политбюро ЦК КПСС В. Медведеву. Дома он завернул картину и сказал, что будет пытаться уговорить его возродить храм.

Окончив деловую часть разговора по науке, Игорь Васильевич заметил, что В. Медведев и его помощники с любопытством разглядывают, как он разворачивает и освобождает от бумаг какую-то вещь (подношения и взятки в то время не были приняты). Изумлению присутствующих не было предела – на картине сиял храм. Игорь Васильевич рассказал историю его создания и гибели, пояснил, как много бы значило для Отечества возрождение именно этого собора на Красной площади. В.Медведев усомнился в финансовых возможностях (денег в государстве не очень много) и спросил о примерной стоимости всех работ. Игорь Васильевич ответил, что цена равна стоимости одного жилого дома – примерно 1.5 млн. рублей (доперестроечных рублей).

Через 10 дней позвонили из ЦК КПСС и сообщили, что действительно стоимость этого сооружения примерно соответствует названной им цифре и принято решение о возрождении храма.

Игорь Васильевич и его сподвижники были счастливы. Будет собор и будет выполнена мечта-завещание Петра Дмитриевича Барановского.

Между прочим, в наше время принято ругать все прошлое, а уж в особенности КПСС. Но нужно быть справедливыми. Игорь Васильевич был беспартийный, но всегда мог попасть в любой отдел ЦК в отличие от теперешних недоступных, тщательно охраняемых начальников. Если были какие-то просьбы, то ответ на них приходил быстро, а решения выполнялись.

1 апреля 1990 г. в «Правде» была опубликована статья «А храм пылал в полнеба», в которой говорилось о начале работ по возрождению храма. Через полгода состоялось Патриарше Богослужение по случаю закладки камня воссоздаваемого Казанского собора и начала сбора пожертвований. А вечером мы с Игорем Васильевичем были приглашены на прием в

Патриаршей резиденции Свято-Данилова монастыря по поводу этого торжественного события, на котором, кроме нас, было еще три гражданских лица, остальные – церковные иерархи.

В 1993 г. храм был построен. Все средства информации наперебой писали о его возрождении на Красной площади. Только корреспондент БиБиСи приехал к нам домой, взял у Игоря Васильевича интервью о том, как все это было, сделал фото с картины, на которой изображен собор. Вечером по TV была рассказана эта история (было время, когда БиБиСи имела возможность прямого эфира на нашем телевидении). Никто из наших телевизионщиков, ранее обожавших Игоря Васильевича, или корреспондентов бесчисленных газет, не хотели или не могли написать правду о том, что в 1990 г. вопрос о возрождении храма был решен не Ельциным, а ЦК КПСС.

Но все эти детали не беспокоили Игоря Васильевича. Главное было сделано – храм стоял.

Сейчас все могут видеть великолепное сооружение. Казанский собор на Красной площади – воплощенная мечта замечательных русских людей – Петра Дмитриевича Барановского и Игоря Васильевича Петрянова.

ИДЕИ, МЫСЛИ И ДЕЛА ИГОРЯ ВАСИЛЬЕВИЧА

Басманов П.И.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»

Служить людям

Говорят, что с уходом человека уходит ненаписанная книга. Но Игорь Васильевич оставил нам в наследство большую, умную и очень нужную книгу. Книгу, в которой содержится не одна глава и каждая – обобщение мыслей и дел как осуществленных, так и оставленных нам и потомкам в назидание. Название этих глав – итог его многогранной деятельности и призыв к живущим на Земле людям, для которых жизнь на нашей прекрасной планете и, прежде всего, в нашей чудесной Родине – счастье. Счастье радоваться жизни и природе, растить детей, заниматься увлекательным и полезным делом, нести людям добро и оставить потомкам цветущую Землю. Служить людям – так названа одна из его статей. Именно этому была посвящена вся научная и общественная жизнь Игоря Васильевича. И каждой из ее частей он умел дать точное и емкое определение. Оно являлось плодом его деятельности за многие годы в данной отрасли знаний и становилось символом, который ниже представлен как заголовок.

Память – это совесть

Так названа беседа Игоря Васильевича в журнале «Огонек» № 35 за 1986 г. Приведу лишь ее начало: «Полюбите Родину всеми силами – и она вас возлюбит...». Именно с этих слов прекрасного русского художника, ученого, гуманиста и патриота Николая Константиновича Рериха я хочу начать разговор о том, что столь важно в жизни каждого человека: память – это совесть. Совесть перед собой, перед современниками, перед поколениями, прошедшими по родной земле, перед будущим. В самой

сути этого понятия лежит любовь к Отечеству. Для того чтобы любить землю своих отцов – свою землю, надо знать ее историю, ее героев и их подвиги, уметь ценить и понимать красоту, созданную нашими предками.

Самый главный океан

Важнейшим направлением научных интересов Игоря Васильевича с первых дней работы в Физико-химическом институте им. Л.Я. Карпова (с 1929 г.) было исследование свойств аэродисперсных систем – аэрозолей (пылей, дымов, туманов, смога и т.п.). Большой цикл работ, выполненных в лаборатории аэрозолей под руководством Игоря Васильевича, был направлен на изучение процессов образования, свойств, распространения и улавливания радиоактивных аэрозолей. Эти работы и анализ данных по загрязнению атмосферного воздуха как радиоактивными, так и другими антропогенными аэрозолями показали, что концентрация их постоянно и быстро нарастает и приближается к критической. Он часто говорил, что человеку в день нужно около двух литров воды, но он может прожить без нее несколько дней, пищи требуется около килограмма, и без нее можно прожить несколько недель, но воздуха необходимо около 25 килограмм и дышать им нужно непрерывно. Именно поэтому Игорь Васильевич называл атмосферу самым главным океаном и защиту его – одной из важнейших задач современности. Его статьи «Воздух наших городов» (1969 г.), «Воздух» (1970 г.), «Живая оболочка планеты» (1972 г.), «Планете – чистое небо» (1972 г.), «Дом, в котором мы живем» (1974 г.), «Задачи защиты воздушного бассейна» (1983 г.), «Организация защиты воздушного бассейна в СССР и США» (1989 г.) и другие – яркое свидетельство этому. «Хранитель воздуха» – так представил Игоря Васильевича в книге «Чистое небо» журналист газеты «Правда» В. Васин.

Безотходная технология – технология будущего

Игорь Васильевич одним из первых заметил, осознал и начал обращать внимание людей на надвигающуюся угрозу – гибель всего живого на Земле из-за загрязнения окружающей среды (воздуха, воды, почвы, растительного мира). Если в 1970 – 1980-х годах Игорь Васильевич, говоря о промышленных выбросах, призывал не рубить сук, на котором сидишь, то в конце своей жизни он видел уже не угрозу, а катастрофу. Последние его выступления так и назывались: «Сколько осталось жить человечеству?» (1995 г.), «Третьего тысячелетия у человечества не будет?» (1996 г.). В журнале «Чудеса и приключения» (№ 2. 1995 г.) он писал: «Человечество подошло к краю гибели. Если оно не изменит структуру и характер промышленного производства, его гибель в начале грядущего тысячелетия неизбежна».

Что конкретно является причиной создавшегося положения? Что нужно сделать людям, чтобы избежать этого?

Основными причинами создавшейся ситуации Игорь Васильевич считал естественный процесс развития человечества и современное экологическое мышление людей.

Он убедительно, просто и понятно (он умел это делать, как никто другой) показывал истоки этой причины. Проанализировав отечественные и зарубежные данные за многие десятилетия, он установил, что в XX веке увеличение промышленного производства вдвое происходило за 8 – 10 лет и с таким же периодом происходило увеличение загрязненности воздушного бассейна. А так как за век прошло 10 таких периодов, то промышленное производство и, соответственно, загрязнение воздуха, выросло в 1000 раз. И когда в XXI веке пройдет еще 10 периодов, то оно возрастет еще в 1000. т.е. уже в миллион раз! И если учесть, что периоды увеличения производства вдвое сокращаются, то и сокращается время, когда эта величина наступит раньше. Людям скоро дышать будет нечем.

Единственный путь, который позволит человечеству избежать этого, Игорь Васильевич видел в необходимости перехода от существующих принципов подхода, способов, решений по использованию минеральных сырьевых ресурсов к полной рациональной переработке их в полезные продукты, т.е. в переходе на безотходную технологию. Он считал, что «в природе нет ничего лишнего», что, например, «в химии нет грязи, грязь – это химическое соединение в неподходящем для него месте» и что «кусочек угля, полиметаллической руды, килограмм нефти – это сказочное богатство, которое по затянувшемуся своему неразумению мы бойко превращаем в ядовитые отходы».

Для удовлетворения потребностей людей, ежегодно добываются многие миллионы и миллиарды тонн минерального сырья. К сожалению, из этого количества человек использует всего 1 – 2 %. Остальное в экологически искаженном виде выбрасывается в окружающую среду. И таких выбросов, по самым скромным подсчетам, накопилось в мире от 200 до 300 миллиардов тонн. Их на долю нашей страны приходится шестая часть. В статье «Природа всегда права» (1980 г.) Игорь Васильевич писал: «98 – 99 % добытого из недр сырья выбрасывается за “ненужностью”. За год при добыче и переработке сырья образуется около 8,5 миллиардов тонн твердых отходов. Все это лишнее? Мы просто не умеем, а часто не хотим найти ему применение».

Величайшая заслуга Игоря Васильевича состоит в том, что он не только говорил, писал об этом, но его практическая деятельность во многом способствовала решению задач по охране всего живого на нашей Земле ее культурных ценностей. Вот некоторые результаты его работы.

Выдвинутая в 1961 г. Игорем Васильевичем совместно с академиком Н.Н. Семеновым идея безотходной технологии получила мировое признание – от закона нашей страны «Об охране природы и рациональном использовании природных ресурсов» до принятия в 1979 г. (Женева) на

совещании на высоком уровне всех европейских стран, а также США и Канады «Декларации о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов». Этой Декларацией государства взяли на себя обязательство «защищать человека и окружающую его среду и рационально использовать ресурсы путем поощрения развития малоотходной и безотходной технологии и использования отходов». В дальнейшем, в 1992 г., (г. Рио-де-Жанейро) на Глобальном саммите была принята «Рамочная конвенция ООН по проблеме изменения климата», а в 1997 г. (г. Киото) дополнение к ней – Киотский протокол – международное соглашение о сокращении выбросов парниковых газов в атмосферу для сдерживания глобального потепления. К сожалению, этот протокол не подписан всеми странами до сих пор. И в первую очередь, основными загрязнителями атмосферы (США, Китай, Индия).

Трудно перечислить все выступления Игоря Васильевича по радио, телевидению, в журналах и газетах, на симпозиумах, конгрессах по этой проблеме. Представление об этой титанической работе в какой-то мере дают заголовки его статей. Вот некоторые из них: «Воздушная среда: проблемы и перспективы ее защиты» (1969 г.), «Сырье из ... дыма» (1977г.), «Экономика + технология = чистая среда» (1973 г.), «Как перестать рубить сук» (1974 г.), «В гармонии с природой» (1981 г.), «Отходы производства: вред и польза» (1983 г.), «В природе лишнего нет. Резервы безотходной технологии» (1985 г.), «Что век грядущий нам готовит?» (1986 г.), а еще книжка «Диалог с природой» (1986 г.) и др.

Придавая большое значение безотходной технологии, Игорь Васильевич страстно пропагандировал и поддерживал первые работы в этом направлении. В своих выступлениях он неоднократно указывал на создание еще в довоенные годы безотходного производства на Горловском азотно-туковом комбинате, а затем (1970-е годы) – на Первомайском химическом комбинате (Украина). Он горячо поддерживал

такие работы, выдвинутые на соискание Государственных премий. В них он видел технологические процессы будущего. Например, когда от комбината “Уралцемент” была представлена «Разработка и широкое промышленное внедрение замкнутой безотходной системы высокоэффективной очистки и рециркуляции аспирационного воздуха в корпусах обогащения асбестовых горно-обогатительных комбинатов» (1984 г.), Игорь Васильевич опубликовал похвальную статью «И цикл замкнулся». Следует отметить, что только на одной фабрике № 6 этого комбината ежедневно отсасывается (аспирируется) более 200 миллионов кубометров воздуха. Говоря об экономическом эффекте (~10 млн. рублей), экономии электроэнергии (более 260 миллионов киловатт-часов в год), Игорь Васильевич подчеркивал, что «самый главный и самый важный результат этой большой работы – чистый воздух в цехах и над городом»

В статье «В гармонии с природой» (1981 г.) он поддержал работу по замкнутой безотходной системе водоснабжения мощностью более 400 тысяч кубометров в сутки, созданную в цехе холодной прокатки трансформаторной стали Верх-Иссетского металлургического завода им. В.И. Ленина. Оценив эту работу, выполненную заводом совместно с проектными и научными организациями Урала, Игорь Васильевич подчеркивал, что «на одном из старейших металлургических заводов страны сделан крупный шаг в практическом решении сложных проблем защиты природы».

Игорь Васильевич показывал, что осуществление принципа безотходной технологии приводит не только к охране природы, получению других полезных продуктов, но и значительному экономическому эффекту. При этом он понимал, что для осуществления этого принципа в широкой практике промышленного производства потребуется не только много времени, сил и энергии, но, и это самое главное – изменение мышления людей.

Игорь Васильевич считал, что практическому снижению выбросов мешает бессистемное, узковедомственное отношение к проблеме. По его мнению, чтобы создать систему, сохраняющую равновесие в нашем мире, необходимо перейти на элементы планового хозяйства. Сегодня это не очень модная формулировка. Но если внимательно посмотреть систему хозяйствования в капиталистическом мире, то выяснится – она сплошь запланирована. Важно, чтобы все максимально исполнялось по тому плану, который в данный момент может быть достигнут.

Без этого, считал Игорь Васильевич, все остальное не имеет смысла. Обсуждая мнение о том, что переход на безотходную технологию-переработку отходов в полезные продукты можно перенести на будущее, он задавал вопрос: «А кто будет перерабатывать?»

Надо менять сознание

Нравственное “загрязнение сознания” и, прежде всего, обожествление “вещизма” – безудержное, часто бездумное желание людей к приобретению всего и вся – другая причина сложившейся ситуации, считал Игорь Васильевич

Как-то в беседе с сотрудниками лаборатории он спросил: «А может ли кто-либо из вас ответить на вопрос – зачем одному человеку иметь 5 – 6 автомашин? Ну, могу понять, что нужны две: одна – для города, другая – для дачи или дальних поездок». Все молчали, но один сказал: «Наверное, чтобы показать другим, какой он богатый, все остальные ему не ровня и должны завидовать». Игорь Васильевич подумал и сказал: «Пожалуй, ты прав. Другой причины я не вижу. Но ведь остальные машины сделаны! Для них добыты и переработаны тонны металла и другого сырья, израсходована электроэнергия, затрачен человеческий труд. А сколько при этом загрязнено воздуха, воды и выброшено на свалки твердых отходов?» В журнале «Природа и человек» (1987 г.) он писал: «Мы можем сколько

угодно декларировать свою преданность высоким идеалам, а на деле печемся о карьере, обильном столе, престиже, комфорте и прочее, прочее». И далее: « Происходит заведомо обожествление потребителя, его требований и, если хотите, капризов. Потребитель, фетишизирующий свои беспредельные потребности, слишком уж будет занят собой, чтобы услышать, заметить и предотвратить экологическую катастрофу».

Предотвратить катастрофу, считал Игорь Васильевич, можно только радикальным, коренным изменением экологического мышления всех людей – от мала до велика. И в первую очередь у научных и инженерно-технических работников – людей, на плечах которых лежит важнейшая задача создания новых технологических процессов и оборудования для их проведения. В статье «Третья точка» (1980 г.) он писал: «Экологический переворот в сознании всех людей – вот что нам нужно. И особенно в инженерной среде. Научная теория и производственная практика – две точки, на которые до сих пор опирается формирование инженера. А это – неустойчивая конструкция. Для твердой опоры нужна третья точка – экологическая воспитанность. Стало быть, задача перед нами стоит, не только научно-техническая, а прежде всего, воспитательная, образовательная». И далее: «Наша прекрасная Земля тяжело больна. Ее болезнь – это признак и одновременно следствие нашего невежества. Мы избавимся от него, только преобразуя самих себя».

В одной из последних статей в «Правде» (1994 г.) о нынешнем экологическом состоянии в стране он писал: «Над человеком занесен топор. Через секунду раскроет череп. А среди окружающих возникает спор: из какой марки стали он сделан? Какого веса с точностью до миллиграмма. И какой размах у топорика? С какой стороны треснет по башке? Безумно важно узнать перед смертью».

Лично мне, Земля и ее современное экологическое состояние представляется как теннисный мяч, медленно, но верно, сжимаемый

мощными тисками. Не знаю, сколько можно его жать, но уверен – не долго. Но даже, если прессинг окончится, то потребуется много сил, энергии и времени, чтобы Земля пришла в нормальное состояние.

Лимит на выбросы

Переход на безотходную технологию – процесс, требующий много времени и усилий. Именно поэтому Игорь Васильевич поддерживал работы, направленные на создание нормативно-технических документов, обеспечивающих снижение выбросов в природную среду. В статьях «Только по норме», «Проблема гигиенического нормирования внешней среды в условиях научно-технической революции» и «Лимит на выбросы», опубликованных в 1972 – 1975 гг. совместно с ведущими учеными нашей страны Н.Г. Кротковым, Ю.А. Израэлем, Е.Н. Теверовским, было предложено наряду с действующими нормами по предельно-допустимым концентрациям (ПДК), установить предельно-допустимые выбросы (ПДВ) на всех предприятиях страны. А в дальнейшем проектирование новых предприятий вести, исходя из небольшой доли – 1/10 и меньше от расчетных значений ПДВ, чтобы обеспечить запас на дальнейшее развитие предприятия или экономического района. В 1984 г. Госгидрометом была выпущена в виде Общесоюзного нормативного документа (ОНД 1-84) «Инструкция о порядке рассмотрения, согласования и экспертизы воздухоохраных мероприятий и выдачи разрешений на выброс загрязняющих веществ в атмосферу по проектным решениям». Эта большая и трудоемкая работа была начата с паспортизации существующих выбросов на предприятиях страны. К сожалению, сегодня такая работа практически не ведется.

Покончить с опасностью радиоактивного загрязнения воздуха

Этот призыв к людям был опубликован в статье Игоря Васильевича и

крупнейших ученых нашей страны в 1963 г. – в период интенсивных испытаний ядерного оружия. Поддержанный учеными и общественностью других стран он явился основой международных соглашений по прекращению испытаний в воздухе, на земле, под водой и в космосе.

Примером того, как Игорь Васильевич боролся за чистоту атмосферного воздуха, могут служить его работы в атомной промышленности. В начальный период осуществления Атомного проекта в СССР многое было неизвестным. Работы по получению ядерного горючего велись с применением способов, методов и оборудования, используемого в химической промышленности. Защита от ионизирующего излучения – главная задача и меры, которые были необходимы для обеспечения безопасности людей. Вопрос защиты от аэродисперсных и газообразных радиоактивных веществ встал несколько позднее. В этом направлении лабораторией аэрозолей, руководимой Игорем Васильевичем, начались в 1951 г. работы непосредственно на предприятиях Минсредмаша. В 1957 г. для решения этих вопросов при НТС этого ведомства была создана аэрозольная секция. Ее руководителем был назначен Игорь Васильевич.

Работа секции была направлена на решение вопросов, связанных с заменой, изменением, модернизацией технологических процессов (операций), направленных на предупреждения образования или максимального снижения выбросов. По инициативе и при непосредственном участии И.В. Петрянова, были решены и внедрены в практику ряд мероприятий, обеспечивших резкое снижение выбросов в атмосферу радиоактивных веществ.

Зональная планировка

Кажется, какое дело человеку, занимающемуся аэродисперсными системами, как строить производственные помещения, в которых ведутся

работы с токсичными веществами. Но Игорю Васильевичу это было не безразлично. Как говорил академик В.А. Каргин, Игорь Васильевич был не только блестящим экспериментатором и ученым, способным поставить и провести работу, он умел обобщить данные, увидеть будущее полученных результатов, их практическое значение и осуществить инженерное решение. Именно у него зародилась идея создания зональной планировки на предприятиях ядерного цикла. Она заключается в том, что воздух, забираемый из атмосферы, поступал в чистые помещения (1-ая зона: операторские, вспомогательные и т.п.), затем – в помещения, где проводилась работа с радиоактивными веществами (2-ая зона) и после этого – в так называемые “грязные” помещения (3-я зона: ремонтные зоны, каньоны, боксы и т.п.)/

Между зонами и на выходе из последней (перед выбросом в вентиляционную трубу) установлены высокоэффективные фильтры. Такую систему планировки иногда называют трехзональной. Ее основное преимущество заключается в том, что резко сокращаются объемы очищаемого воздуха, а также потребности в тепле на его подогрев.

Зональная планировка производственных помещений в настоящее время является основой проектирования и строительства предприятий, занятых производством, переработкой и использованием радиоактивных веществ: комбинаты, заводы, АЭС, корабли и подводные лодки с ядерно-энергетическими установками, лаборатории и т.п.

Стерегущая защита

На радиохимических заводах основным и мощным источником загрязнения воздуха является технологическое оборудование: аппараты растворения, осаждения, фильтрации и др. Каждый из них имеет вентиля, штуцера для приборов контроля, трубопроводов подачи и выдачи растворов, газов и других реактивов. Все это, как правило, крепится

фланцами с прокладками, которые, рано или поздно, выходят из строя. Кроме того, возможны случаи образование трещин, отверстий в трубопроводах. Все это приводит к выбросу значительного количества токсичных веществ и загрязнению всего помещения.

Принцип стерегущей защиты, предложенный Игорем Васильевичем, заключается в том, что каждый аппарат размещается в отдельном вентилируемом помещении, на выходе из которого установлен высокоэффективный фильтр с датчиком радиометрического прибора. В случае разгерметизации аппарата выбросы поступают на фильтр и регистрируются прибором, связанным с пультом управления технологическим процессом. Дефектный аппарат отключают, и принимают меры для устранения аварии.

Газгольдерная система

При работе ядерного реактора основное количество радиоактивных веществ выбрасывается в виде газов, имеющих периоды полураспада до трех суток. По инициативе Игоря Васильевича были созданы большие емкости (газгольдеры), в которых выбросы выдерживались указанное время. После этого образовавшиеся при радиоактивном распаде аэрозоли улавливали в высокоэффективных фильтрах и сорбционных колонках. В процессе отработки этого метода было проверено несколько вариантов.

Один из них (с проточными газгольдерами) принят за основу для атомных станций страны.

Применение предложенных Игорем Васильевичем зональной планировки, стерегущей защиты и газгольдерных систем обеспечило снижение выбросов радиоактивных веществ предприятиями Минсредмаша до уровня ниже предельнодопустимых в сотни и тысячи раз. Так, по данным Ю.А. Шестакова и Б.Ф. Садовского (1999 г.): «В результате внедрения перечисленных и ряда других мероприятий с 1956 по 1996 гг.

выбросы альфа-активных аэрозолей на ПО «Маяк» снижены в 350 – 400 раз, бета-активных аэрозолей – в 1700 раз, йода-131 – более чем в 16000 раз, короткоживущих газов – в 2300 раз. С 1964 г. на ПО «Маяк» не было ни одного превышения ПДВ. В последние годы выбросы радионуклидов держатся ниже уровня ПДВ: альфа-активные аэрозоли – в 250 – 300 раз, стронций-90 – в 2500 – 5000 раз, остальные радионуклиды – от 100 до 10000 раз. В это достижение ПО «Маяк» огромный вклад внес И.В. Петрянов».

За работы по снижению выбросов на предприятиях Минсредмаша Игорю Васильевичу с представителями научных и производственных предприятий в 1980 г. была присуждена Государственная премия.

Защита от радиации

В отличие от некоторых современных “экологов”, ратующих за закрытие АЭС, И.В. Петрянов считал, что использование энергии деления атомного ядра – величайшее открытие во благо человечества.

На чем базировалось его мнение?

Во-первых, добыча минерального сырья из недр Земли, исчисляемая многими миллиардами тонн, уже превышает мощности глобальных природных геологических процессов.

Во-вторых, ядерная энергия в настоящее и ближайшее время будет основным источником получения электроэнергии. Так, за счет АЭС Франция обеспечивает почти 100 % электроэнергии, Япония – на 80 %, многие страны – на 10 – 25 %. Что будет, если закрыть АЭС?

В-третьих, получение электроэнергии за счет Солнца, ветра, приливов и других источников требуют больших капиталовложений, усилий и времени.

В-четвертых, современный уровень знаний, методов, приборов и техники позволяет обеспечить достаточную безопасность проведения всех процессов получения и использования ядерной энергии.

Последнее позволило создать и практически использовать в широком масштабе такие аппараты, установки и приборы, как мощные облучательные стационарные и передвижные установки, аппараты для лучевой терапии, радиационные дефектоскопы, радиационные термоэлектрические генераторы, толщиномеры, плотномеры, влагомеры, высотомеры, нейтрализаторы статического электричества, электрокардиостимуляторы и другие. Использование ядерного излучения Игорь Васильевич не только поддерживал. Он был непосредственным участником создания ядерного реактора в Обнинске в филиале НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Наряду с этим Игорь Васильевич считал, что только добросовестные, грамотные и профессионально обученные люди могут работать с такими устройствами. Иначе – Чернобыль.

Пароль – ФП

Второе главное направление научной деятельности Игоря Васильевича было связано с открытием процесса получения, разработка технологии и организация промышленного производства фильтрующих материалов из ультратонких полимерных волокон, получивших название «ФП» – фильтры Петрянова.

Сегодня трудно найти область производственной деятельности в нашей стране, где бы не использовались изделия на основе этих фильтрующих материалов. Достаточно указать, что:

- фильтрами с материалом ФП только за один час очищали около 1 млрд. м³ воздуха,

- сотни тысяч людей, занятых на вредных работах, ежедневно пользуются респираторами, в которых фильтрующим элементом служит материал ФП,

- анализ (контроль) загрязненности воздуха аэродисперсными примесями практически во всех производственных, коммунальных, бытовых помещениях, а также в атмосфере проводится с помощью аналитических фильтров из материала ФП,

- анализ (контроль) выбросов радиоактивных аэродисперсных и газообразных примесей предприятиями атомной промышленности, АЭС и других ядерно-энергетических установок, а также продуктов ядерных взрывов, производится с помощью фильтрующих, сорбционно-фильтрующих лент или фильтров из материала ФП,

- обеспечивается надежная работа современных химических источников тока,

- производится очистка жидких сред и т. д.

И сегодня материал Петрянова надежно служит в тех отраслях производства, где необходима тонкая и сверхтонкая очистка воздуха (газов) от высокодисперсных аэрозолей.

За открытие процесса получения ультратонких полимерных волокон И.В. Петрянов и Н.Д. Розенблюм в 1940 г. были удостоены Сталинской премии III степени. В 1966 г. за теорию и технологию получения новых фильтрующих материалов и их внедрение в промышленность Игорю Васильевичу с коллективом научных и производственных сотрудников присуждена Ленинская премия.

Лепесток

Такое название дал Игорь Васильевич противоаэрозольному респиратору, разработанному специально для защиты от радиоактивных аэрозолей на основе материала ФП. Высокая эффективность, малое

сопротивление дыханию, незначительное сокращение поля зрения и отсутствие приглушения разговорной речи – вот основные преимущества респиратора «Лепесток». Именно они явились определяющими для широкого и массового применения респиратора с 1954 г. сначала в атомной, а затем и других отраслях промышленности. В конце 1980-х годов выпуск респираторов «Лепесток» составлял около 150 млн. штук в год, обеспечивая ежедневную защиту почти 600 тысячам людей. Он до сих пор пользуется широкой популярностью и верно служит людям. Отметим, что в ноябре 2003 г. на ВВЦ торжественно был выпущен пятимиллиардный респиратор «Лепесток».

Роль и значения респиратора «Лепесток» в деле охраны здоровья трудящихся трудно переоценить. В частности, он обеспечил радикальное улучшение условий труда на предприятиях атомной промышленности и явился основным средством защиты при ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г.

В настоящее время на базе респиратора «Лепесток» разработаны десятки противоаэрозольных и газопылезащитных респираторов с материалом ФП. Они с успехом служат благородному делу охраны здоровья людей. «Лепесток» стал символом этого дела.

Большое значение для разработки, методов и оценки результатов испытаний и применения респираторов, а также перспектив их создания служит книга «Лепесток», выпущенная издательством «Наука» в 1984 г. Она была написана по инициативе Игоря Васильевича, под его руководством и непосредственном участии.

Беруши

Это еще одно слово, которое предложил Игорь Васильевич, и которое стало не только новым в языкознании, но и символом средств защиты людей от вредного воздействия шума на человека. Береги уши, так

расшифровывается средство «Беруши» на основе фильтрующего материала ФП. Квадратик размером 40 x 40 мм, весом около 150 мг, изготовленный из волокон диаметром ~ 0.5 и 7 мкм, обеспечивает эффективную защиту от низких и высоких частот шума, практически не заглушая тонов разговорной речи. Это очень важно в производственных условиях, например в ткацких цехах. Обладая шумопоглощающими свойствами не ниже многих противозумных устройств (тампонов), у наших «Берушей» было еще одно, непревзойденное отличие – коробка с 50-ю вкладышами, которую можно было купить в любой аптеке, стоила 32 коп. Сейчас наши «Беруши» из аптек исчезли (видно, очень дешевые). Появились иностранные с нашим же названием и с “хорошей” ценой, но не лучшими свойствами.

«Беруши» из материала ФП получили широкое применение на предприятиях машиностроительной, деревообрабатывающей, судостроительной, газовой, текстильной, швейной и других отраслей промышленности, а также в быту. Выпуск их достигал сотен миллионов штук в год.

Книга – вторая мать

Так сформулировал Игорь Васильевич роль книги в жизни людей. Говоря о книгах, он вспоминал, что «Конька-горбунка» ему читала мама, а «Робинзона Крузо» прочитал уже сам. Последняя книга, по его мнению, научила быть самостоятельным и добиваться намеченной цели. Сколько прочел Игорь Васильевич книг, он, наверное, не смог бы сказать. Но я знаю, где бы он ни был: дома, на работе, в самолете, в поезде, как только появлялась свободная минутка, он доставал книгу. Приведу такой пример. Нередко мы возвращались с работы домой вместе и, чтобы иметь возможность почитать дорогой садились в трамвай, который через три остановки приходил на конечную «Чистые пруды». Там в пустом вагоне

мы выбирали удобные места, доставали свои книжки и, почитывая, ехали домой.

Он любил книгу, берег ее и был страстным пропагандистом чтения как источника знаний. И не случайно судьба выбрала и сделала его «Главным книголюбом» нашей страны – многие годы он возглавлял Всесоюзное общество книголюбов, членами которого были десятки миллионов людей.

В настоящее время нередко обсуждается вопрос о будущем книги. Считается, что приход новых средств информации приведет к отказу от нее. Игорь Васильевич был уверен в противоположном. Отвечая на вопрос о будущем книги, он говорил: «Я совершенно уверен, что ... книга останется. Ведь это не просто хранилище информации. Это и элемент культуры. Впрочем, почему элемент? Фундамент! Передаваемый из поколения в поколение опыт общения с духовными ценностями» (1983 г., «Известия»).

Его статьи «Действенность книги» (1980 г.), «Книга на весах науки» (1983 г.), «Неиссякаемый источник» (1984 г.), «Книга в нашем доме» (1984 г.), «Вечная миссия книги» (1984 г.), «Книга в диалоге культур» (1987 г.) и другие – твердая уверенность в том, что книга как в прошлом, в настоящем, так в будущем, играла, играет и будет играть важнейшую роль в жизни человеческого общества.

Книга, по мнению Игоря Васильевича, не только источник информации, духовного и культурного развития, но и воспитатель. Воспитатель, как мать, с самого раннего возраста.

«Научная литература соотносится с научно-популярной, как золотоносная руда с чистым золотом», – говорил Игорь Васильевич при вручении ему в Париже в 1984 г. премии Каллинги, присуждаемой ЮНЕСКО за выдающийся вклад в дело популяризации современных научных знаний. В «Альманахе библиофила» (№6, 1984 г.) он развивал эту

тому: «По моему глубокому убеждению, для развития науки нужна не только специальная, но и научно-популярная литература. Специальные статьи интересны лишь узкому кругу ученых. Они могли бы и так поговорить и поспорить. Тысячи специалистов, работающих в смежных и далеких областях, такие статьи, как правило, мало читают. Иное дело – научно-популярные работы. С ними знакомятся «просто так», из любознательности, для отдыха. А между делом получают полезную информацию».

В статьях «О роли, характере и задачах научно-популярной литературы» (1973 г.), «Яблоко раздора: размышления о науке, информации и литературе» (1974 г.), «Выходить к читателям с популярными статьями» (1985 г.), «Хранилище знаний» (1985 г.), «Без научной публицистики не обойтись» (1987 г.) и других Игорь Васильевич размышлял о научной информации, о важности этой работы. Он призывал ученых, специалистов самых различных отраслей науки, техники, знаний писать и публиковать сведения о своих и чужих достижениях. При этом он считал, что такие материалы должны отвечать интересам читателей самого разного, начиная со школьного, возраста.

Игорь Васильевич предложил и возглавил замечательную серию книг «Ученые – школьнику». Авторами книжек стали крупнейшие ученые и специалисты нашей страны. Среди них – лауреаты Нобелевской премии Н.Н. Семенов и Н.Г. Басов, академики А.Н. Несмеянов, Ф.Г. Угров, Г.Н. Флеров, Е.И. Чазов, В.Л. Янин и другие. Мне приходилось видеть, сколько сил времени, терпения и настойчивости приходилось затрачивать Игорю Васильевичу на уговоры потенциальных авторов книжек. Почти каждый раз разговор начинался с того, что у автора нет времени, он никогда не писал подобного и т.д. Но Игорь Васильевич не отступал. Уговаривал, вручал для ознакомления уже опубликованные книжки этой серии и, в конце концов, добивался своей цели. Конечно, во многом успех дела

определялся личным обаянием Игоря Васильевича, его авторитетом и умением доказать важность и необходимость работы. И надо было видеть, с какой радостью он встречал появление новой книжки. Еще большую радость доставляло ему то, что школьники узнают из первых рук самое новое и главное о современном состоянии и перспективах данной отрасли знаний. Он считал, что новая книжка – прекрасный подарок подрастающему поколению.

За все время, когда Игорь Васильевич был главным редактором этого издания, было выпущено около 100 книжек. Сам он или с соавторами подготовил пять из них. О будущем науки – «Неведомое на вашу долю» (1974 г.), о воде – «Самое необыкновенное вещество в мире» (1975 г.), о науке, необходимой всем, – «Термодинамика для многих» (1975 г.), об открытии периодического закона Д.И. Менделеева – «Великий закон» (1975 г.), о своем научном пристрастии – «Вездесущие аэрозоли» (1989 г.). В память об Игоре Васильевиче книжка о воде была выпущена вторым изданием (1998 г.).

Колоссальную работу он провел при подготовке к изданию третьего тома «Детской энциклопедии» “Физика и химия”, для которого им было написано несколько статей: «Основной закон» – о периодическом законе Д.И. Менделеева, «Необычайные атомы» – о позитроне, мега-атомах, гипер-фрагментах и анти-атомах, «У порога неведомого» – о науке будущего, «Как вода течет по трубам» и др.

По основным направлениям его научной деятельности выпущены брошюра «Волокнистые фильтрующие материалы ФП» (Изд. «Знание», серия «Химия», 1968 г.) и «Аэрозоли» (Изд. АН СССР, серия «Наука и технический прогресс», 1989 г.).

«Химия и жизнь»

Такое название предложил Игорь Васильевич, когда его утверждали Главным редактором нового научно-популярного ежемесячного журнала Академии наук СССР. Первый номер был подписан в печать 10 марта 1965 г. Игорь Васильевич почти тридцать лет (до конца жизни) возглавлял этот журнал. Это был его трудный, но любимый ребенок. Журнал быстро полюбили читатели. Если тираж в 1965 г. составлял 15 тыс, то в 1967 г. – 126 тыс, а в 1983 г. – уже 330 тыс экземпляров! Трудность же заключалась в том, что Игорь Васильевич участвовал в выпуске практически каждого номера. Утром он вставал рано. И первое дело – журнал. Он не просто просматривал и подписывал верстку, но прочитывал все статьи, просматривал фотографии, рисунки, графики и т.п. А сколько статей Игорь Васильевич написал сам? Трудно перечислить. Во всяком случае, статьи, посвященные знаменательным датам, великим открытиям и ученым-химикам, физикам, как правило, написаны им. Но не только это составляло трудности по выпуску журнала. Одни из них связаны с определением, поиском и уговорами авторов, другие – с улаживанием конфликтов с вышестоящими организациями, с поставкой бумаги, с печатью и т.д. Думаю, что одного этого дела с лихвой хватило бы другому человеку на всю жизнь. Не один раз, будучи у него дома или на работе и видя, сколько времени, сил, забот и энергии отдавал Игорь Васильевич журналу, я говорил ему, что журнал уже встал на крепкие ноги и пора потихоньку передавать его в другие руки. Такой разговор заканчивался обычно вопросом Игоря Васильевича: «А ты бы бросил любимое, нужное и полезное дело? Нет? Ну, так вот и я не могу». Следует учесть, что Игорь Васильевич стал Главным редактором журнала почти в 60-летнем возрасте.

«Спокойной жизни не понимаю», - говорил он, в одном из интервью в 1985 г. В этом был весь Игорь Васильевич...

Драгоценные реликвии

Так оценивал Игорь Васильевич природное, духовное и культурное наследство, оставленное нам многими поколениями. Будучи Почетным членом и членом президиума Центрального совета Всероссийского общества охраны памятников истории и культуры, Председателем редакционного совета популярного альманаха «Памятники Отечества», Игорь Васильевич отдавал этому делу много душевных сил и энергии. Он, например, гордился и считал, что ему посчастливилось быть участником в подготовке закона СССР и РСФСР «Об охране и использовании памятников истории и культуры» (журнал «Огонек», № 6, 1986 г.).

Невозможно рассказать все о непосредственном участии Игоря Васильевича в охране памятников культурного наследия. К ним относятся не только памятники архитектуры, садово-парковых зон, музеев, скульптур, но и лесные заповедники, озера, реки и все, что создано и оставлено предками нам в наследство. «Тысячелетние корни» (1968 г.) и «Памятники Отечества» (1981 г.) – о выходе первого номера одноименного альманаха, «Драгоценные реликвии» (1982 г.) и «Сберечь жемчужину русской природы» (1984 г.) – о Плещеевом озере, «О деятельности и задачах Советского фонда культуры» (1986 г.) и «Еще не поздно» (1987 г.) – о музее-заповеднике А.И. Островского, « Байкал ждет» (1966 г.) и «Байкал будет чистым» (1987 г.) – о водной жемчужине Земли, «Не потеряем ничего из прошлого» (1991 г.) – о сохранении наследия России – вот далеко не полный перечень выступлений Игоря Васильевича в защиту культурного и природного наследия страны.

Благодаря его усилиям были сохранены или возрождены такие памятники как Казанский собор на Красной площади, дом Даля, фрески Дионисия в Ферапонтовом монастыре. Его заботило состояние музея-заповедника Л.Н. Толстого «Ясная Поляна», древней церкви на территории

завода «Динамо», где похоронены легендарные Пересвет и Ослябя, герои Куликовской битвы, создание в Подмосковье музея-заповедника Д.И. Менделеева и А.А. Блока, а также другие памятники Отечества и даже поворот северных рек.

Иногда, заботясь об очередном памятнике, Игорь Васильевич привлекал меня или брал с собой.

Так было при решении вопроса о судьбе церкви «Всех святых на Кулешах» на площади Ногина (ныне Славянская), где похоронены воины, умершие после Куликовской битвы. Для разговора с начальством ему нужны были фотографии этой церкви, и я, по его просьбе, сделал их с разных позиций. В другой раз он отвез меня к дому Даля на Грузинской улице. Показал мне восстановленный дом и застекленное окно на одной из его сторон, сказав, что это сделано специально по его просьбе, для того, чтобы люди знали, какой был дом после пожара – в окне видны обгоревшие бревна стены дома.

Как-то возвращаясь с работы домой, он попросил водителя остановиться на Октябрьской площади. Вышли из машины. Он смотрит в сторону улицы Димитрова (ныне Большая Якиманка) и спрашивает: «Видишь Кремль?» Отвечаю утвердительно. Вдали блестели купола кремлевских соборов и колокольни «Ивана Великого». «А теперь представь, что будет построено еще два корпуса новой правительственной гостиницы (ныне «Президент отель») в начале этой улицы. Их уже начали строить», – говорит Игорь Васильевич и спрашивает: «Что по-твоему будет?». «Кремля не будет видно», – отвечаю я. «Вот в этом-то и дело. А ведь это дорога в Кремль от главных ворот Москвы – Внуковского аэропорта. По ней приезжают в Кремль космонавты, президенты и другие гости столицы. Как же можно загородить такой вид на Кремль? Вот сейчас мы добиваемся прекращения строительства этих корпусов»...И добились! Так и стоят сегодня два недостроенных корпуса, не загораживая

вид на Кремль. В одном из них – магазин «Детская игрушка», а в другом – магазины иностранных фирм.

Однажды, собираясь на какое-то мероприятие в Дом ученых, Игорь Васильевич предложил выехать пораньше. Сказал, что хочет посмотреть одно здание. Выходим из метро «Кропоткинская», и он ведет меня к Метростроевской улице (ныне Остоженка). В начале улицы справа – запущенный кирпичный двухэтажный дом. «Это, говорит Игорь Васильевич, – палаты бояр Лопухиных, дочь которых Евдокия была первой женой Петра Первого. Дом вот-вот собираются сносить. Говорят, что уже бульдозеры приготовили... Он построен в XVII веке. Таких домов в Москве раз-два и обчелся. Сейчас мы с главным архитектором Москвы пытаемся его отстоять». ...И отстояли! В последствии провели косметический ремонт. Что в нем сейчас – неизвестно. Но стоит в центре Москвы двухэтажный красный дом с высокой крышей, деревянными кованными дверьми и белыми наличниками на небольших окошках, украшая улицу и напоминая о прошлом нашей страны.

На Третьих Петряновских чтениях (2001 г.) я рассказывал о работе под руководством Игоря Васильевича по обеспечению обеспыленных условий хранения музейных экспонатов. Работа проведена в Оружейной палате Московского Кремля. И вот уже почти 40 лет самые драгоценные реликвии нашей страны хранятся в витринах Оружейной палаты, Алмазного фонда и других музеев, защищенные от пыли фильтрами из материала Петрянова.

Заканчивая доклад, хочется вернуться к его началу. Как-то Игорь Васильевич сказал: «Для того, чтобы любить землю своих отцов – свою землю, надо знать, за что ее любить. Надо знать ее историю, знать героев и их подвиги, уметь ценить и понимать красоту, созданную нашими предками». Это мог сказать только человек, посвятивший свою жизнь Родине и сделавший все возможное, что было в его силах, в деле защиты

ее людей, природы, культурных ценностей, воспитания молодежи и популяризации современных научных достижений человеческого общества.

Добрый, умный русский Человек, Защитник, Хранитель и великий Патриот своей горячо любимой Родины. Таким мы знали Игоря Васильевича, и таким он останется навсегда в нашей памяти.

И.В. ПЕТРЯНОВ И СОВЕТСКИЙ АТОМНЫЙ ПРОЕКТ

Огородников Б.И.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»

В дни Сталинградской битвы в конце 1942 г. Государственный комитет обороны (ГОКО) признал необходимым возобновить прерванные Великой Отечественной войной исследования по овладению внутриядерной энергией. Главная цель – возможность создания атомной бомбы. В апреле 1943 г. для решения задачи в Академии наук СССР была открыта Лаборатория № 2. Ее начальником назначили И.В. Курчатова. Лавинное развитие работ началось после лета 1945 г., когда сначала в пустыне Аламогордо, а затем над японскими городами Хиросима и Нагасаки были взорваны американские атомные бомбы с плутонием и ураном.

Во главе проблемы как законодательный орган был поставлен Специальный комитет при ГОКО под председательством Л.П. Берии. Ему подчинили исполнительный орган – Первое главное управление при Совете Министров СССР (ПГУ) во главе с Б.Л. Ванниковым. В ПГУ создали Технический совет, в состав которого включили министров и виднейших ученых, а затем – руководителей конструкторских бюро и заводов нарождающейся атомной промышленности.

В 1944 – 1946 гг. шли интенсивные поиски решений, которые могли бы наиболее быстро привести к цели. В этот период тщательно анализировали выбор ядерного взрывчатого вещества, сопоставляя ^{235}U , ^{239}Pu и ^{233}U . Сравнивали средства их получения: разделение изотопов урана для концентрирования ^{235}U или создание атомных реакторов для наработки плутония и ^{233}U . Рассматривали различные методы разделения изотопов урана: на центрифугах, при диффузии гексафторида урана через пористые перегородки, электромагнитным сепарированием,

термодиффузией и др. Сопоставляли технические возможности будущих уран-графитовых и уран-тяжеловодных реакторов [1].

Уже на втором заседании Спецкомитета, состоявшемся 31 августа 1945 г. первым пунктом повестки дня был вопрос «О производстве продукта 180». Под таким названием была зашифрована тяжелая вода. Она требовалась для создания реактора на природном уране. Было поручено Техническому совету тщательно обсудить вопрос о методах получения тяжелой воды [2, с. 18].

4 сентября 1945 г. вышло постановление ГОКО № 9967сс/оп «О производстве продукта № 180 на заводах Наркомхимпрома». Этому ведомству совместно с Лабораторией № 2 поручалось «организовать в ГСНИИ-42. на Московском электролизном заводе и в Физико-химическом институте им. Карпова научно-исследовательские работы по получению продукта № 180 методами электролитического разделения, изотопного обмена и дистилляции» [3, с. 15 – 18].

Ровно через 20 дней И.В. Курчатов представил Техническому совету доклад о дополнительном привлечении к работам по использованию внутриатомной энергии научно-исследовательских учреждений и специалистов [3, с. 333]. По его мнению, имелись четыре важнейших направления, в которых требовалось развивать работы: 1) ионный метод получения ^{235}U , 2) получение тяжелой воды, 3) выделение плутония из урана, 4) проектирование промышленных предприятий по получению атомных взрывчатых веществ (уран-графитового реактора и диффузионного разделительного завода).

Детализируя свои предложения, И.В. Курчатов отмечает: «К этим работам привлекается крупная научно-исследовательская организация и Физико-химический институт им. Карпова Наркомхимпрома. Намечено применить для получения тяжелой воды разнообразные процессы – электролиз, испарение, фильтрацию через ультратонкие пористые

перегородки, адсорбцию, термодиффузию, разложение водяного пара в процессе газификации углей. Эти работы будут проводиться под руководством профессоров Жаворонкова, Петрянова, Жуховицкого, Эршлера и Сыркина».

Спустя четыре дня (28 сентября) на пятом заседании Спецкомитет, переподчиненный Совнаркому СССР, утвердил постановление Технического совета о дополнительном привлечении к участию в работах по использованию внутриатомной энергии научных учреждений, отдельных ученых и других специалистов. Были определены 20 организаций, которым поручались конкретные направления [2, с. 27 - 35]. Среди них Физико-химическому институту им. Карпова (зам. директора проф. Н.М. Жаворонков) надлежало выполнить исследования по 10 разделам:

«1. Исследовать процесс изотопного обмена в присутствии катализаторов между водой, водяным паром и водородом (руководители работ проф. Петрянов, к.х.н. Туницкий).

2. Разработать теорию и произвести экспериментальные исследования процессов выделения продукта 180 путем электролиза с целью выяснения зависимости коэффициента разделения от материала катодов, состава электролита, способа обработки поверхности катодов, температуры, давления, плотности тока и интенсивности перемешивания (руководитель работ д.х.н. Эршлер).

3. Исследовать и произвести подбор новых химических реакций для изотопного химического обмена (руководитель проф. Петрянов).

4. Изучение процесса разделения изотопов посредством фильтрации (диффузии) через ультратонкие пористые перегородки (руководитель работы проф. Петрянов).

5. Изучить процесс разделения изотопов методом адсорбции и термодиффузии (руководитель работы проф. Жуховицкий).

6. Изучить процесс выделения продукта 180 путем дистилляции (руководитель работы проф. Жаворонков).

7. Исследовать возможность обогащения продукта 180 при разложении водяного пара в процессе газификации углей (руководитель работы проф. Жаворонков).

8. Изучить металлоорганические соединения урана (руководитель работы проф. Кочешков).

9. Исследовать возможности разделения изотопов тяжелых элементов путем электролиза (руководитель работы д-р Эршлер).

10. Определить нулевую энергию изотопов урана и произвести теоретические расчеты химических методов разделения изотопов (руководитель работы проф. Сыркин)».

Как следует из перечисленных направлений, семь касались проблемы получения тяжелой воды, из которых три возлагались на И.В. Петрянова и руководимую им лабораторию аэрозолей. Заключительные три пункта задания были составными частями разработки метода обогащения урана его 235-м изотопом.

17 января 1946 г. доклад И.В. Курчатова, И.К. Кикоина, Б.Л. Ванникова, М.Г. Первухина, А.П. Завенягина о состоянии работ по получению и использованию атомной энергии за подписями Л.П. Берии, Г.М. Маленкова и Н.А. Вознесенского был направлен И.В. Сталину [3, с. 384]. В приложении 2 среди 11 научно-исследовательских институтов и лабораторий, участвующих в исследованиях, числился Физико-химический институт (руководители работ – профессора Петрянов, Жаворонков), который привлекался к изысканию новых промышленных методов производства тяжелой воды. В разделе V этого приложения было отмечено, что в III квартале Наркомхимпромом построен и пущен на Чирчикском электрохимкомбинате в Узбекистане первый цех по получению тяжелой воды электролитическим методом.

Через месяц (12 февраля 1946 г.) И.В. Курчатов направил И.В. Сталину очередной доклад о ходе работ по использованию внутриатомной энергии [3, с. 428]. Излагая направления работ в 1946 г., И.В. Курчатов остановился в п. 3 на котле “уран-графит”: «Научно-техническая разработка этого метода значительно продвинулась вперед. Мы имеем, кроме того, много ценных трофейных отчетов из Германии, где основным направлением работ по использованию внутриатомной энергии был котел “уран + тяжелая вода”. Этот котел проще по конструкции и требует в 10 раз меньше металлического урана, чем графитовый котел. Но осуществить постройку котла “уран + тяжелая вода” можно лишь при наличии нужных количеств (15 – 20 тонн) тяжелой воды. Я считаю, что необходимо расширить производство тяжелой воды опробованным в заводских условиях методом электролиза. Но еще более необходимо развивать работу по получению тяжелой воды другими способами и, в частности, построить в сжатый срок первые установки по получению тяжелой воды методом дистилляции и методом изотопного обмена. Возможным сроком сооружения и ввода в действие котла “уран + тяжелая вода” является 1948 год».

На заседании № 20 Технического совета было заслушано среди прочих сообщение заместителя директора Физико-химического института им. Карпова т. Жаворонкова о ходе научно-исследовательских работ, выполняемых институтом по постановлению Спецкомитета. Было решено исключить из плана изучение процесса разделения изотопов методом термодиффузии и исследование возможностей обогащения продукта 180 при разложении водяного пара в процессе газификации углей [5. с. 79 - 80]. Одновременно было признано необходимым переключить работы по диффузии через ультратонкие пористые фильтры на *получение* указанных фильтров, стойких против коррозионного действия алива. Под этим названием был зашифрован гексафторид урана. Таким образом, на

лабораторию аэрозолей было директивно возложено выполнение исследований по еще одному из важнейших направлений советского Атомного проекта.

В середине 1946 г. проблема тяжелой воды продолжала оставаться под пристальным вниманием руководителей Атомного проекта. 20 июня Б.Л. Ванников, М.Г. Первухин и И.В. Курчатов направили Л.П. Берии письмо, в котором констатировали: «До настоящего времени нет единого научного центра, который бы координировал эту работу, оказывал методическую помощь, давал бы авторитетные, научно обоснованные заключения по поступающим в Первое главное управление при Совете Министров СССР и Министерство химической промышленности предложениям и изобретениям, связанным с проблемой получения продукта 180. и, наконец, который бы занимался разработкой основных задач, связанных с получением продукта 180.

По нашему мнению, таким головным институтом мог бы явиться Физико-химический институт им. Карпова, который по состоянию своей материально-технической базы и, в особенности, по наличию высококвалифицированных кадров смог бы взять на себя решение следующих задач:

1. Осуществление методической помощи другим лабораториям и научно-исследовательским учреждениям, работающим над проблемой получения продукта 180 по заданию Первого главного управления при Совете Министров СССР.

2. Разработка новых и усовершенствование существующих методов получения продукта 180.

3. Разработка новых и освоение существующих методов анализа и определение состава продукта 180.

4. Организация научно-исследовательских и лабораторных работ по получению небольших количеств изотопов легких элементов.

Для решения этих вопросов целесообразно организовать в Физико-химическом институте им. Карпова специальную лабораторию по продукту 180 и специальный ученый совет при директоре Института им. Карпова для руководства научно-исследовательскими работами по продукту 180 и контроля за проведением этих работ».

14 ноября Совет Министров СССР за подписью И.В. Сталина принял Постановление № 2493-1044сс «О руководстве научно-исследовательскими работами по вопросам получения гидроксидина» [4, с. 71 - 73]. Этим названием заменили прежний шифр тяжелой воды “продукт 180”. В Постановлении было указано:

«1. Принять предложение тт. Ванникова, Первухина и Курчатова о создании в Физико-химическом институте им. Карпова Министерства химической промышленности основного научного центра по изучению всех вопросов, связанных с разработкой и улучшением методов производства гидроксидина.

2. Возложить на Физико-химический институт им. Карпова (т. Жаворонкова):

а) усовершенствование уже известных методов производства гидроксидина, разработку новых, более экономичных методов получения указанного продукта;

б) разработку методов анализа гидроксидина и определение его изотопного состава;

в) оказание методической помощи другим научно-исследовательским институтам и лабораториям, работающим ... над проблемой производства гидроксидина;

г) оказание научно-технической помощи предприятиям, вводящим в действие производственные и опытные гидроксидиновые установки, в части организации проведения лабораторных и производственных методов

анализа гидроксилина и научных исследований, вытекающих из потребностей производства при его освоении.

3. Обязать Министерство химической промышленности (т. Первухина) организовать в Физико-химическом институте им. Карпова специальный сектор № 8 по вопросам, связанным с производством гидроксилина.

4. Назначить начальником сектора № 8 ... директора института доктора технических наук, проф. Жаворонкова Н.М.

5. Утвердить план научно-исследовательских работ Физико-химического института им. Карпова.

6. Организовать при секторе № 8 ... для руководства научно-исследовательскими и опытными работами по гидроксилину Ученый совет».

Как следует из документа [5, с. 572 – 573], сектор № 8 просуществовал в Карповском институте около трех лет. После того, как Н.М. Жаворонков стал ректором МХТИ им. Д.И. Менделеева, сектор был упразднен, но Ученый совет остался в качестве координирующего органа Межведомственного НТС по тяжелой воде до 1952 г.

В процессе развертывания исследований по способам получения тяжелой воды И.В. Петрянов трижды выезжал в Германию. Сохранилась его фотография в форме полковника. О результатах этих поездок и работы, проделанной за 1945 – 1946 гг. по проблеме получения тяжелой воды, известно по отчету И.В. Курчатова, Б.Л. Ванникова и М.Г. Первухина, направленному И.В. Сталину 23 декабря 1946 г. [4, с. 582 – 583]. В частности, отмечено, что с привлечением немецких специалистов на заводе Амониак-Верке в Мерзенбурге была восстановлена разрушенная англичанами (очевидно во время бомбардировок – прим. авт.) опытная установка по получению тяжелой воды методом многоступенчатого двухтемпературного изотопного обмена. Однако этот метод

исключительно сложный и громоздкий, с большим количеством аппаратов. Основным же дефектом установки является разрушение и унос катализатора парами воды. Тем не менее эта установка была демонтирована, и вся ценная аппаратура вывезена в Физико-химический институт им. Карпова. На том же заводе была восстановлена и испытана опытная установка по изотопному обмену водород – жидкая вода под высоким давлением. Опыты на ней дали удовлетворительные результаты. Достигнуто значительное увеличение скорости обмена по сравнению с системой водород – водяной пар, выявлено наличие обмена при комнатной температуре. Установка была демонтирована и также вывезена в Карповский институт.

В том же отчете [4, с. 590 – 591] обращено внимание на ряд вопросов, связанных с проектированием котлов с тяжелой водой, что являлось одним из направлений деятельности Лаборатории № 3 АН СССР (в последующем – Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханяна). При этом отмечено, что разработкой стандарта на тяжелую воду занимается Институт им. Карпова.

Итоги пятилетней работы по созданию реакторов на тяжелой воде были подведены в докладе Л.П. Берии, направленном 26 марта 1951 г. И.В. Сталину [6, с. 665 – 668]. «Плутоний производится в настоящее время на комбинате № 817 (ныне ПО «Маяк», г. Озерск – прим. авт.), - сообщалось в докладе. В составе комбината работают два атомных завода (реактора), химический и металлургический заводы. Ведется строительство еще трех атомных заводов, два из которых будут введены в действие во II квартале 1951 года и один – во II квартале 1952 г. Один из пяти атомных заводов комбината будет иметь в качестве замедлителя тяжелую воду. Применение тяжелой воды позволит перевести этот завод на производство урана-233 из тория (что предусматривается планом на 1952 год). Тяжелой воды на 1 января 1951 года произведено 34,7 тонны, а металлического тория – 53.9

тонны. В 1952 году будет произведено тяжелой воды 23 тонны и тория – 25 тонн».

Первый промышленный реактор ОК-180 на тяжелой воде был пущен на ПО «Маяк» в октябре 1951 г. Он проработал 15 лет и был остановлен в марте 1966 г. Усовершенствованный реактор ОК-190 был запущен на «Маяке» в декабре 1956 г. Его сняли с эксплуатации через девять лет практически одновременно с ОК-180. Но им на смену в апреле 1966 г. пришел реактор ОК-190М, который проработал ровно 20 лет. Своеобразную эстафету от него принял реактор Л-2 («Людмила»), вошедший в строй в декабре 1987 г. Все эти годы тяжелую воду для реакторов поставляли промышленные электролизеры и заводские установки изотопного обмена.

Методы определения концентрации дейтерия в воде были разработаны в Карповском институте в лабораториях А.И. Шатенштейна и И.В. Петрянова. Один метод получил название поплавкового, другой – градиентного. Суть их заключалась в определении плотности воды при заданной температуре.

После создания в 1949 г. в МХТИ им. Д.И. Менделеева инженерного физико-химического факультета, проходившего при непосредственном участии И.В. Петрянова, оба метода определения концентрации тяжелой воды вошли в лабораторные практикумы, которые на кафедре № 44 (кафедра разделения и применения изотопов) стали выполнять пятикурсники. Сам профессор Петрянов с первого учебного года начал читать курс лекций «Физические методы разделения стабильных изотопов» (диффузия, термодиффузия, электромагнитная сепарация, центрифугирование), а позднее – «Изотопные эффекты и общие основы многоступенчатых процессов разделения» [7]. Замечательное сотрудничество И.В. Петрянова с Менделеевским институтом продолжалось 38 лет. Профессор Б.М. Андреев, закончивший кафедру №

44 в 1956 г., а затем с 1982 по 2007 гг. возглавлявший ее, вспоминал: «...Своим лекторским мастерством выделялись И.В. Петрянов и Г.К. Боресков, хотя манера чтения лекций была у них совсем разная. Если лекции Георгия Константиновича отличались строгостью, лаконичностью, пожалуй, некоторым холодком, то Игорь Васильевич, наряду с четким изложением материала, умел делать яркие, захватывающие и надолго запоминающиеся отступления. Причем это не были заурядные “лирические отступления”. Будучи исключительно эрудированным во многих областях знаний, Игорь Васильевич как бы дополнительно иллюстрировал материал и упрощал нам жизнь. Сам внешний облик Игоря Васильевича, его негромкий голос, “академический” берет, мягкие манеры располагали слушателей. На его лекциях никогда не шумели, не читали посторонних книг, не играли в “морской бой”. Было интересно» [8].

Как было отмечено выше, с середины 1940-х годов развитие способов получения тяжелой воды шло по многим направлениям, в которых И.В. Петрянов участвовал как руководитель и исполнитель. Доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ А.М. Розен вспоминал [9]: «Демобилизовавшись в 1944 г. из армии и вернувшись в ГИАП, я был привлечен к разработкам производства тяжелой воды... В 1945 г. я вместе с В.Ф. Калининским предложил высокоэкономичный способ производства D_2O путем ректификации жидкого аммиака с использованием теплового насоса... Предполагалось построить завод производительностью 8 т D_2O в год в Новомосковске на азотнотуковом комбинате МХП. Примерно в то же время заместитель министра атомной промышленности А.П. Завенягин пригласил для проведения аналогичной разработки известного немецкого физикохимика профессора М. Фольмера и опытного инженера В.К. Байерля... После долгих поисков было решено построить завод в Норильске... Однако доставка жидкого аммиака в качестве сырья была исключена... Было решено использовать его лишь как эффективный

дистилляционный агент, восстанавливая в нем содержание дейтерия путем изотопного обмена вода – жидкий аммиак. На фоне впечатляющего ректификационного каскада (пять колонн высотой 100 м, диаметром до 4.7 м) установка казалась небольшой: колонна высотой 30 м, диаметром до 1 м. Изготовление оборудования и монтаж завода сильно затянулись, пусковые работы начались лишь осенью 1952 г. с установки изотопного обмена. Оказалось, что она не обеспечивает и половины производительности завода. Наконец, удалось установить, что в колонне происходит сильное пенообразование и “лишняя” жидкость выбрасывается с пеной. Я известил А.П. Завенягина о возникшей трудности, и к нам в помощь была командирована группа ученых: профессора И. В. Петрянов, Р.И. Кричевский, М. Фольмер и др. Мы долго советовались с Игорем Васильевичем и решили: следует испробовать все возможные способы очистки аммиака, что мы и сделали. В результате пенообразование заметно уменьшилось, производительность установки возросла. Игорь Васильевич посоветовал принять более радикальные меры – отказаться от использования коксохимического аммиака, улучшить конструкцию ректификационных тарелок (повысить пеноустойчивость). Это было в дальнейшем сделано и принесло хорошие результаты».

Как было отмечено выше, помимо исследований по проблеме получения тяжелой воды лаборатория аэрозолей, возглавляемая И.В. Петряновым, в начале 1946 г. была привлечена к поиску наиболее экономичных способов обогащения урана. Следуя технологическим решениям, использованным американцами для создания урановой атомной бомбы и изложенным в книге [10], И.В. Курчатов сосредоточил внимание на создании завода по диффузионному разделению гексафторида урана. В отчете И.В. Курчатова, Б.Л. Ванникова и М.Г. Первухина о состоянии работ по получению и использованию атомной энергии за 1945 – 1946 гг., направленном на имя И.В. Сталина 23 декабря 1946 г. [4, с. 539 - 607],

была подробно рассмотрена проблема фильтров как ключевая в создании диффузионной установки разделения изотопов урана. Отмечалось, что размеры пор в фильтрах не должны превышать тысячной доли миллиметра и в то же время обладать большой газопроницаемостью и химической устойчивостью к агрессивному гексафториду урана. Поскольку для завода потребуются тысячи квадратных метров таких фильтров, то технология их изготовления должна быть сравнительно проста. Предварительная проверка различных методов изготовления фильтров была выполнена в Лаборатории № 2. На основании этого было решено привлечь к дальнейшим работам ряд научно-исследовательских организаций, которые располагали перспективными методами изготовления фильтров.

Постановлением СМ СССР № 793-315сс от 9 апреля 1946 г. «Об организации производства специальных фильтров» было разрешено Первому главному управлению провести конкурс по созданию усовершенствованных фильтров. В соответствии с [4, с. 539 - 607] в нем участвовали: Лаборатория № 2. Лаборатория комбината твердых сплавов, Центральная лаборатория треста твердых сплавов, Институт общей и неорганической химии АН СССР, Институт им. Карпова, Уральский индустриальный институт им. Кирова, НИИ № 13 Министерства вооружения, Ленинградский физико-технический институт АН СССР, а также институты, возглавляемые немецкими профессорами Герцем и Ардене. В соответствии с положением о конкурсе через месяц были представлены образцы фильтров и технологии их изготовления. Официальные испытания прошли в Лаборатории № 2. Предварительные итоги подвели в ноябре 1946 г. Лучшим оказался фильтр, изготовленный из порошка никеля, спеченного при температуре около 1000 °С в атмосфере водорода. Его разработали на Комбинате твердых сплавов.

В Карповском институте, естественно, сосредоточили внимание на волокнистых фильтрующих материалах, способ получения которых был

открыт еще весной 1937 г. И.В. Петряновым, Н.Д. Розенблум и Н.А. Фуксом. При определенных технологических режимах удавалось получить полимерные волокна диаметром менее одного микрона. На основе этого способа в годы Великой Отечественной войны на Урале было налажено производство фильтров БФ (боевой фильтр), которые шли на снаряжение армейских противогазов. Для создания диффузионных перегородок И.В. Петрянов предложил спрессовать слои материалов из ультратонких волокон, чтобы поры имели микронные размеры и менее. Именно такие образцы были представлены на конкурс. По воспоминаниям доктора химических наук Б.Ф. Садовского, пришедшего работать в Карповский институт летом 1949 г. [11], образцы были направлены в Лабораторию № 2 к И.К. Кикоину, руководившему работами по обогащению урана. Оказалось, что по разделительной способности эти перегородки превосходили никелевые, но перхлорвинил, из которого изготавливали волокна, оказался недостаточно стойким в среде гексафторида урана. Попытки обработать перегородки хлором, фтором и другими реагентами не привели к резкому увеличению их химической стойкости. К сожалению, в те годы методом электрокапиллярного прядения еще не умели получать ультратонкие волокна из фторопласта, который в разных вариантах, например прокладок, уже использовали в диффузионных установках.

Опыт создания прессованных пористых перегородок из волокнистых фильтров не пропал. Оказалось, что плотные пористые листы можно с успехом использовать в электролизерах при получении тяжелой воды. Химическая стойкость перхлорвинила оказалась достаточной для работы при температурах около 50 – 70 °С [11]. В лаборатории аэрозолей были установлены вальцы, через которые пропускали пачку из десяти слоев волокнистого материала. На выходе получали прочный картон, который направляли на электрохимические предприятия.

Однако несколько ранее волокнистые фильтрующие материалы Петрянова (материалы ФП) нашли применение в Атомном проекте по своему прямому назначению. Речь идет об улавливании радиоактивных аэрозолей. Задача возникла в 1948 г. примерно за год до испытания первой советской атомной бомбы на Семипалатинском полигоне. Для определения коэффициента полноты использования ^{239}Pu требовалось отобрать аэрозоли из радиоактивного облака. На заседании Спецкомитета 26 августа 1949 г. был принят проект Постановления СМ СССР «Об испытании атомной бомбы» [2, с. 388 - 390]. Пункт 3 гласил: «Установить, что задачей испытания является получение атомного взрыва путем возбуждения в заряде из плутония быстрой цепной ядерной реакции. Атомный взрыв должен быть зафиксирован с помощью наблюдений и специальных приборов и аппаратов. При взрыве атомной бомбы должны быть произведены исследования и измерения, необходимые для: а) расчета коэффициента полезного действия атомного заряда; б) оценки мощности ударной волны взрыва атомной бомбы и ее разрушающего действия на военные, промышленные и гражданские сооружения и военную технику; в) оценки характера, интенсивности и поражающего действия радиоактивных излучений (образующихся при атомном взрыве) на животных, военные, промышленные и гражданские сооружения, военную технику, снаряжение, материалы и продовольствие».

Месяцем ранее Спецкомитет, рассмотрев вопрос «О проверке готовности полигоны № 2», принял дополнения и замечания к ранее утвержденной программе физических наблюдений [2, с. 382 - 385]. В пункте 1 приложения было указано: «В целях повышения точности определения КПД объекта необходимо: а) сохранить в программе наблюдений забор проб из взрывного облака при помощи телеуправляемых самолетов...». Одновременно в пункте 6 вносилась корректировка: «Считаем необходимым в целях безопасности...б) изъять

из программы наблюдений применение реактивных установок М-31 для сбора проб воздуха из облака взрыва». Это приложение было подписано заместителем начальника Лаборатории № 2 М.Г. Мещеряковым, заместителем главного конструктора КБ-11 К.И. Щелкиным и научным руководителем полигона М.А. Садовским.

Задача создания надежного метода анализа состава радиоактивных аэрозолей, образующихся в облаке ядерного взрыва была сформулирована И.В. Курчатовым перед лабораторией аэрозолей Карповского института в 1947 – 1948 гг. Необходимо было разработать метод отбора и анализа аэродисперсной фазы из огромных объемов радиоактивного облака на любых высотах без нарушения соотношения между концентрациями опорных изотопов, образовавшихся при взрыве ядерного заряда и распылении конструкционных материалов. Проба должна была без изменений и загрязнений доставляться на анализ, а отборное устройство не должно было искажать дисперсного состава радиоактивных аэрозолей.

Единственным путем, позволявшим решить проблему, оказался метод фильтрации аэрозолей. Хотя в лаборатории аэрозолей перед Великой Отечественной войной уже был разработан для противогаров фильтрующий материал, комплексное решение проблемы потребовало проведения обширных исследований фильтрации аэрозолей волокнистыми материалами с различными диаметрами волокон, сопротивлениями, при различных скоростях потоков. В итоге были созданы новые специальные материалы из ацетилцеллюлозы. К тому же они обеспечивали требованиям проведения радиохимических анализов.

Подготовка технических средств для реализации аэрозольного метода началась в 1948 г. Лауреат Ленинской премии П.И. Басманов, начавший трудовую деятельность в лаборатории аэрозолей Карповского института в 1947 г., сообщил, что через год из Института химической физики поступила просьба передать образцы волокнистых материалов БФ для

испытаний в специфических условиях. Получивший тогда эти материалы В.Л. Тальрозе подтвердил в разговоре со мной в июле 1994 г., что он был причастен к разработке устройств для отбора радиоактивных аэрозолей, образующихся при ядерных взрывах.

Первые гондолы для улавливания аэрозолей, были созданы в ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского совместно с ФХИ им. Л.Я. Карпова и размещены на крыльях истребителя Як-9в. В каждой гондоле на конусах из металлической сетки находилось по 3 м² материала. Подробные сведения об участии авиационных средств в советском Атомном проекте содержатся в книгах С.М. Куликова [12] и Л.М. Мезелева [13].

События, связанные с разработкой и испытаниями первых самолетных гондол, предназначенных для фильтрации радиоактивных аэрозолей из облаков ядерных взрывов, запомнились И.В. Петрянову во всех деталях. Как-то, находясь у него в кабинете, мы услышали следующее. «Первый пробный полет с гондолами назначили на подмосковном аэродроме в Жуковском. Снарядили в них наши фильтры. Пришел летчик: важный такой дядька, большой ростом, говорит сквозь зубы. Объясняю ему задание: попробовать механическую прочность фильтров на нескольких режимах пикирования. Сначала – малые нагрузки, затем побольше и под конец – максимальные. Всего около 10 пикирований. Летчик кивает головой – все понятно - и уходит. Он – в самолет. Все остальные, в том числе начальник аэродрома, представитель Первого главного управления и Спецкомитета, – на вышку. Самолет улетел. Мы ждем. Прошли уже все сроки. Его нет. Люди начали спускаться с вышки и расходиться. Я остался один. “Разбился”, - думаю про себя. И вдруг - “вжик!”. Самолет прилетел. Оказалось, что летчик сделал всего одно пикирование, но с самой большой нагрузкой. Фильтры, гондолы – все уцелело. Надобность в других пикированиях отпала. Оставшееся время наш ас потратил на то, чтобы

слетать в сторону Урала и помахать крылышками над домом возлюбленной».

К середине августа 1949 г. оборудовали гондолами пять управляемых по радио самолетов-заборников Як-9в. На каждом крыле – по гондоле. Летные испытания состоялись на полигоне № 2. Как выяснилось, “узким” местом радиоуправления стало приземление самолетов: ломались шасси, машины “клевали” при посадке. Все самолеты накануне испытания атомной бомбы получили те или иные повреждения.

В книге «Первая атомная» В.И. Жучихин так вспоминает о попытке 29 августа 1949 г. забрать радиоактивные вещества из облака взрыва [14]. «Предполагалось, что после взрыва через его облако должны пройти три управляемых по радио беспилотных самолета Пе-2 (здесь вкралась ошибка: не Пе-2. а Як-9в – *прим. авт.*) с целью забора радиоактивных проб. Однако густая и низкая облачность препятствовала осуществлению этого намерения. Руководство испытаниями сначала приняло решение перенести взрыв с 8⁰⁰ на 7⁰⁰ в надежде на улучшение погоды. Но синоптики никакого улучшения погоды не обещали. Поэтому окончательно было решено: взрыв назначить на 7⁰⁰, запуск самолетов отменить». Аэрозольный метод пришлось реализовать иным путем.

А.К. Круглов в книге [15] приводит такие сведения. «Для оценки интенсивности радиации через ~10 мин после взрыва два специально защищенных танка КВ, оснащенных дозиметрической аппаратурой, направились в эпицентр к основанию ножки радиоактивного гриба. Как пишет заместитель министра здравоохранения А.И. Бурназян, находившийся в одном из танков, его танк на максимальной скорости через десяток минут после взрыва был в эпицентре. Собрав нужную информацию и отобрав пробы оплавленной земли, экипаж возвратился для доклада результатов руководителю Государственной комиссии и И.В. Курчатову...

Представительные пробы отбирали из эпицентра на различных расстояниях по радиусу. Количество разделившихся ядер плутония измеряли по излучению β - и γ -активности основных осколочных элементов ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{137}Cs , ^{144}Ce и др. Анализ всех этих измерений позволял судить о количестве выделившейся энергии и КПД.

В отборе проб из эпицентра через сутки после взрыва 30 августа участвовали Н.А. Власов, Г.Н. Горшков и Я.П. Докучаев. У старшего группы (Н.А. Власова) был стрелочный дозиметр. Их снаряжение состояло из комбинезона, противогаза, резиновых перчаток, металлического совка, брезентового мешочка для отбора проб, солдатских ботинок. На “козликe” быстро достигли эпицентра и сразу же заполнили мешочки пробами (по крупнее и помельче). Работу по отбору проб выполнили за 5 – 7 мин.

Определение количества выделившейся энергии и КПД изделия на основании анализа проб, отобранных на полигоне, возглавляли Б.А. Никитин, А.П. Виноградов, И.Е. Старик, П.И. Толмачев и др. Радиометрические измерения β - и γ -активности выполнили сотрудники Радиевого института Б.С. Джелепов, Н.А. Власов, Г.Н. Горшков и др. «Активность, характеризующую количество непрореагировавшего плутония, измерял Я.П. Докучаев».

Следующие два отечественных ядерных испытания были проведены на Семипалатинском полигоне осенью 1951 г. К этому времени пробоотборными гондолами были оборудованы самолеты ЛИ-2. Испытание заряда РДС-2 состоялось на башне 24 сентября. Полный тротиловый эквивалент был определен двумя независимыми методами: по количеству распавшегося при взрыве плутония, что было установлено радиохимическим анализом продуктов взрыва, и по объему и температуре огненного полушара, образовавшегося на начальной стадии взрыва.

18 октября 1951 г. третья отечественная атомная бомба РДС-3 была сброшена с бомбардировщика Ту-4 на высоте 10 км и в 9 ч 53 мин 33 с

взорвалась на высоте около 400 м. Через 1 ч 20 мин после этого к точке, над которой произошел взрыв, отправился танк. Дозиметрическая разведка показала, что мощность излучения в эпицентральной зоне значительно ниже той, которая была при наземных взрывах. Радиоактивный “гриб” поднялся до тропопаузы (12 км). В 10 ч 20 мин к облаку взрыва приблизился самолет ЛИ-2. Он был поднят в воздух заранее, чтобы пройти через нижнюю часть облака и взять на фильтр Петрянова пробу аэрозолей для радиохимического анализа. Руководил пробоотбором радиохимик Д.А. Шустов, находившийся в кабине пилотов на месте штурмана. Впервые в мире самолет с людьми вошел в ядерную преисподнюю. В ножке “гриба” было темно.

«Сначала мы пролетели на высоте 3000 метров, - вспоминал Д.А. Шустов [16]. Приборы показали, что радиоактивных веществ здесь не очень много. Тогда я приказал подняться на 5000 метров. Стрелки дозиметрических приборов вскоре ушли за границы шкал. Это означало, что на фильтре уже находилось более 1 Ки радиоактивных веществ. После приземления фильтрующий материал поступил в радиохимическую лабораторию, где определили коэффициент полезного использования плутония. Мощность взрыва равнялась 41.2 кт. И.В. Курчатов был доволен и всех поблагодарил за работу».

Мощность взрыва РДС-3 была определена уже по трем методикам: радиохимическому анализу аэрозолей, размерам и температуре огненного шара, а также по ударной волне.

Итак, с 1951 г. аэрозольный метод контроля ядерных взрывов в полной мере заработал применительно к отечественным испытаниям.

К первому термоядерному взрыву США советские средства отбора и анализа радиоактивных аэрозолей были существенно усовершенствованы. Пробоотборными устройствами были оборудованы самолеты-разведчики конструкторского бюро А.С. Яковлева [12, 13]. По мнению Ю.Б. Харитона

и Ю.Н. Смирнова [17] радиохимический анализ проб из воздуха после американского термоядерного взрыва 1 ноября 1952 г. действительно мог дать некоторую информацию о материалах, использованных в “изделии”.

Еще один интересный случай при отработке аэрозольного метода контроля ядерных взрывов, представлен в книге [18], где И.В. Петрянов вспоминал о встречах с И.В. Курчатовым. Вот фрагмент его рассказа, записанный Л.Н. Шапкиным:

- А Вы знаете, Игорь Васильевич однажды меня защитил?

- Защитил от кого? Как?

- Прошли испытания... Мои фильтры должны были принести результаты, а принесли по ведру воды...

Петрянов на меня посмотрел и увидел, что я ничего не понимаю. Я, впрочем, и не скрывал своего недоумения – сидел, приоткрыв рот, и не шевелился. Мне показалось, что он тут же пожалел меня, потому и стал объяснять.

- Нужно было исследовать облако после взрыва, погладил он, как всегда, свою бороду, - поэтому и пригласили меня с моими фильтрами. Я установил фильтры на самолете и уехал с полигона.

- Прошло какое-то время, и вдруг сообщают, что меня срочно требуют в штаб испытаний. Причем, сообщают это как-то недовольно и даже с каким-то раздражением, нервно. “Натворил ты там, дескать, что-то... Срочно отправляйся в штаб...” Поехал, а на душе неспокойно, тем более, знаю, что на испытаниях присутствует сам Курчатов.

Петрянов поправил свои очки, словно захотел мне что-то прочитать, однако не тронул ни одной книжки, ни одного листочка бумаги, которые перед ним лежали.

- Так вот... Приезжаю в штаб, спрашиваю, куда идти?

- В кабинет Игоря Васильевича, - отвечают.

- Ну, думаю, совсем плохо, пропал... Сам Игорь Васильевич вызывает... Значит, дело серьезное.

Прохожу и вижу, что за столом Курчатова сидит один из его заместителей (Г.Д. Засухина-Петрянова сообщила, что это был И.К. Кикоин, - *прим. авт.*), который меня тут же начал отчитывать. “Вы, - говорит, подвели нас! Мы Вам верили, надеялись на Вас, а Вы со своими приборами оказались несостоятельным!” Да, так, я вам скажу, грубо все это говорит. Ну, чуть ногами не топает. Я ничего не понимаю, прошу объяснить, а он не успокаивается, даже наказанием стал грозить... Тогда я тоже не выдержал и тоже повысил голос. “Объясните толком, - говорю, что случилось!” Он успокоился и сказал, что мои фильтры вместо ожидаемых результатов взрыва, которые должны были привезти, привезли по ведру воды.

- Как воды?

- А так...

И мой собеседник снова начал меня распекать. И тут я смекнул.

- При каких условиях проводились испытания? – спрашиваю. Не было ли это время дождя? Позвоните на полигон, уточните...

Он позвонил, и ему ответили, что дождь в это время, действительно, был.

- Вот видишь, - услышал я и обернулся. За спиной стоял Курчатов. Я даже не заметил, как он вошел в кабинет.

- Видишь, - повторил Игорь Васильевич, а ты кричишь... Наказывать собираешься... Конечно... Вы послали самолет в водяное облако, он и привез вам воду...

Петрянов снова поправил очки и закончил:

- Вот так меня один раз защитил Курчатов».

Летчики, направлявшиеся в облако ядерного взрыва, подвергались огромной опасности. Штурман Б.А. Муратов, служивший с 1955 г. на

Новой Земле в 10-й авиационной группе специального назначения (АГ СН), вспоминал [19].

«Во время испытания “изделия” академика Сахарова на мысе Выходном, так называемой “чистой” бомбы, когда все экипажи испытательного полка при заборе радиоактивных проб получили предельно допустимые дозы облучения, мы с командиром 10 АГ СН подполковником Борисом Николаевичем Трушновым также совершили полет для забора проб, сделав четыре захода в радиоактивное облако.

Скажу прямо, полной информации о проводимых работах мы не имели. Нам ставили конкретные задачи, и мы выполняли их в нужное время. Работа летного состава испытательного авиаполка была всегда связана с опасностью. В то время мы не знали и не понимали влияния радиации и светового излучения на организм. А ситуации бывали всякие. Так, 7 сентября 1957 г. на восточном берегу губы Черная был проведен наземный взрыв ядерного устройства. Экипаж старшего лейтенанта Горшкова на самолете Ил-28 после выполнения заходов в радиоактивное облако для забора проб полностью потерял ориентировку и вместо курса 320 – 340 градусов взял около 90 градусов и полетел в Карское море. Дежурный штурман старший лейтенант Пярксон на экране наземного радиолокатора заметил это и развернул своими командами самолет на Рогачево, где он нормально произвел посадку. Каждый член экипажа получил дозу по 20 Р». При выполнении различных заданий, в том числе для отбора аэрозолей от иностранных ядерных взрывов, использовали также самолеты Ил-14, Ан-8, Ту-4, Ту-26 и др.

П.И. Басманов сохранил рабочую тетрадь с записями 1954 – 1956 гг. Это – время создания полигона на Новой Земле и проведения первого в СССР подводного ядерного взрыва. Было ясно, что выделение огромного количества энергии при взрыве приведет к вскипанию и диспергированию большой массы воды. Чтобы обеспечить отбор радиоактивных аэрозолей,

требовалось исследовать гидродинамику и механическую стойкость фильтрующих материалов, а также улавливание ими водных туманов. Для выполнения первой задачи была собрана установка, в которой сжатый воздух из баллона с высокой скоростью проходил через конусообразный фильтр, а его расход замеряли анемометром. В тетради указана дата: эксперименты начались 15 ноября 1954 г. Месяцем раньше была собрана другая установка. В ней имелась банка с пульверизатором, выходное сопло которого было повернуто к стенке. Крупные капли ударялись о нее и стекали на дно, а мелкий туман подхватывался воздушным потоком и поступал на фильтр. Так была определена гидроемкость, т.е. количество тумана, задержанного фильтрующими материалами ФПА-15, ФПП-15 и ФПП-25, которое приводило к двукратному увеличению их сопротивления.

По результатам этих экспериментов были выданы рекомендации по снаряжению фильтровальных гондол самолетов-разведчиков. О пользе проведенных исследований красноречиво свидетельствуют воспоминания Д.А. Шустова.

«Осенью 1955 г. на Новой Земле провели первый подводный взрыв атомной бомбы. Цель – определение воздействия такого взрыва на военноморскую технику. В программу испытаний входило определение коэффициента полезного использования ядерной взрывчатки (КПИ). Поэтому на Северном полигоне создали радиохимическую лабораторию из прикомандированных радиохимиков. Большинство из них участвовали в атомных испытаниях на Семипалатинском полигоне. Пробу для определения КПИ отбирали самолетом Ил-28, оборудованным гондолой с фильтром, на который и собирали аэрозоли. Самолет управлялся пилотом и пронизывал “шляпку” радиоактивного облака “гриба”. При отборе пробы произошел непредвиденный случай. Когда самолет вышел из облака, летчик обнаружил, что лобовое стекло покрыто каким-то веществом, да

так плотно, что видимости почти не осталось. Самолет с трудом был посажен на аэродром. При осмотре лобового стекла установили, что оно покрылось морской солью. Следовательно, радиоактивные аэрозоли, образующиеся при подводных взрывах, являются не твердыми, а жидкими».

На протяжении многих лет научное, конструкторское и технологическое совершенствование аэрозольного метода обнаружения и контроля ядерных взрывов было непрерывным творческим процессом, потребовавшим кооперации усилий специалистов различных профилей.

В 1962 г. с помощью самолета Ан-8, оборудованного двумя фильтровальными гондолами, были определены эффективности улавливания аэрозолей, образовавшихся в результате наиболее мощной серии воздушных ядерных взрывов [20]. Было выполнено пять полетов над Европейской частью территории СССР и Сибирью на высотах 4000 – 8000 м. Гондолы снаряжали тремя слоями материала ФПА-15-0.7. Это соответствовало условиям фильтрации воздуха через материал ФПА-15-2.0. использовавшийся для штатных пробоотборов. После полета каждый слой подвергался детальному радиометрическому и радиохимическому анализу. Было установлено, что независимо от высоты полета 86 % суммарной β -активности задерживается на первом слое, 10 % - на втором и 4 % - на третьем. Примерно таким же оказалось распределение по слоям отдельных радионуклидов: ^{89}Sr , ^{91}Y , ^{95}Zr , ^{140}Ba , ^{141}Ce , ^{144}Ce и ^{237}U . Было констатировано, что созданный для аналитических целей материал ФПА-15-2.0 достаточно эффективен, обладает малым сопротивлением воздушному потоку и позволяет за короткое время отфильтровывать большие объемы воздуха, удобен при снаряжении и расснаряжении гондол, пригоден для выполнения радиометрических измерений и радиохимических анализов. В то же время было показано, что материал может быть усовершенствован.

Вскоре в итоге теоретических, экспериментальных и летных исследований, проведенных в Физико-химическом институте им. Карпова, удалось разработать и внедрить в промышленность новый неворсистый фильтрующий материал ФПА-15-1.0. Он имел высокую эффективность улавливания аэрозольных продуктов ядерных взрывов и пониженную зольность, а также обладал высокими механическими качествами благодаря склейке волокон. Этот материал был создан для новой унифицированной фильтровальной гондолы, разработка которой была завершена в 1964 г. в конструкторском бюро А.С. Яковлева. Материал выдерживал скорости полета до 1000 км/ч при эксплуатации на самолетах Як-25 и Як-28 [12, 13].

В унифицированной фильтровальной гондоле размещались соосно две конусообразные металлические сетки, на которые накладывали фильтрующий материал: на одну – около 1 м² и на вторую – 2 м². Для пробоотбора со сверхзвуковых самолетов, разработанных в конструкторских бюро Микояна, Сухого и Туполева, в унифицированной гондоле была модифицирована входная часть. Одновременно в Карповском институте были созданы новые термостойкие малозольные фильтрующие материалы ФПАР-АТ-1 и ФПАР-15-1.5. Они выдерживали температуры до 280 °С. Унифицированные гондолы и термостойкие фильтрующие материалы прошли испытания и эксплуатировались на самолетах Як-25, Як-28, Ан-24, Ан-30, МиГ-25 и др. [12, 13].

Несмотря на мобильность и сравнительную простоту отбора продуктов ядерных взрывов с помощью самолетных установок, они не всегда могли удовлетворить нужды служб специального контроля. Например, при космических взрывах или воздушных взрывах мощных термоядерных устройств требовалось отобрать пробы с максимально возможных высот. Это могли выполнить автоматические установки или ракетные пробоотборники.

Весной 1961 г. были начаты работы по созданию аэростатной аппаратуры для отбора не только радиоактивных аэрозолей, но и газообразных компонентов, которые содержали тритий и ^{14}C (пары воды, углекислый газ). Уже через год были проведены опытные полеты аэростата АРР-1. и с высот до 25 км доставлены пробы аэрозолей.

В 1965 г. под руководством И.В. Петрянова в Физико-химическом институте им. Карпова и Долгопрудненском конструкторском бюро автоматики началась разработка нового варианта аэростата (АРР-2) и аппаратуры “Снежинка”, предназначенных для отбора радиоактивных веществ из стратосферы с высот до 32 км. В “Снежинке” для обеспечения чистоты и высокой эффективности отбора воды и углекислого газа использовалось их вымораживание в теплообменнике, охлаждаемом жидким азотом. В 1967 – 1969 гг. с помощью АРР-2 было доставлено около 20 уникальных проб, в том числе 21 октября 1969 г. с высоты около 25 км - “свежие” продукты девятого ядерного взрыва КНР. Одновременно в ходе этих работ были получены уникальные сведения о влажности стратосферы и концентрациях дейтерия и трития [21 - 23]. Было показано, что выше 15 – 20 км удельная влажность воздуха возрастает. Кроме того, наблюдаются сезонные колебания влажности. Из анализов углекислого газа следовало, что максимальное содержание ^{14}C находилось на высотах около 25 км [21, 22].

После заключения в 1963 г. Договора о прекращении ядерных испытаний в атмосфере, под водой и в космосе рамки использования аэрозольного метода несколько сузились, хотя Франция и КНР еще продолжали воздушные взрывы. Однако США и СССР уже перевели свои испытания под землю. При этом пристальное внимание стали уделять выходу на дневную поверхность газообразных компонентов, в частности радиоактивного йода. Для его обнаружения на базе волокнистых материалов ФП в Карповском институте были разработаны сорбционно-

фильтрующие материалы. Их производство было налажено в Сарове. Пробоотборные устройства стали снаряжать слоистыми композициями: первый слой – материал ФПА-15-2.0 (или ФПП-15-1.5), второй – сорбционно-фильтрующий. Еще один важный параметр радиоактивных аэрозолей стали получать, когда материал ФПА-15-2.0 заменили на трехслойную композицию: первый слой - ФПП-70-0.1, второй – ФПП-70-0.2 и третий – ФПП-15-1.5. Это позволило помимо радионуклидного состава и концентраций определять еще и дисперсность аэрозолей [20].

Созданные для аналитических целей волокнистые полимерные материалы ФП, а также наземные, корабельные, самолетные, аэростатные фильтровальные установки позволили отбирать и анализировать радиоактивные продукты не только отечественных, но и зарубежных ядерных взрывов в различных точках нашей планеты, в том числе в стратосфере. Так аэрозольный метод контроля и обнаружения ядерных взрывов, в котором используются волокнистые фильтры Петрянова, стал неотъемлемой частью советского Атомного проекта.

По мере начала работы рудников по добыче урановой руды, завода по получению гексафторида урана, диффузионных каскадов по обогащению урана, реакторов по наработке плутония, радиохимического завода по его выделению и металлургического для изготовления “изделий” из металлического плутония возникали острые проблемы, связанные с предотвращением ингаляционного поступления радиоактивных веществ в организм персонала. Их решали двумя путями: совершенствованием технологических процессов, повышением надежности оборудования и разработкой эффективных способов защиты органов дыхания человека. По мнению доктора медицинских наук У.Я. Маргулиса ключевую, даже революционную роль, в решении этой проблемы сыграл И.В. Петрянов и тонковолокнистые фильтрующие материалы ФП [24]. Использование фильтров Петрянова в технологических коммуникациях позволило

снизить, а в ряде случаев исключить поступление радиоактивных веществ в рабочие помещения. Там же, где концентрации аэрозолей оставались высокие, помогал уникальный респиратор «Лепесток», разработанный под руководством И.В. Петрянова совместно Физико-химическим институтом им. Карпова и Институтом биофизики Минздрава СССР. Основные этапы и пути решения проблем аэрозольной безопасности при выполнении советского Атомного проекта представлены в публикации [25]. Обзорный доклад по этой проблеме был представлен И.В. Петряновым, Б.Ф. Садовским, П.И. Басмановым и Н.Б. Борисовым на Международном симпозиуме «Наука и общество: история советского Атомного проекта (40-е – 50-е годы)», состоявшемся в Дубне 14 – 18 мая 1996 г. К сожалению, через день после окончания симпозиума И.В. Петрянов скончался. Подробный анализ теоретических и практических аспектов защиты органов дыхания от вредных (особенно радиоактивных) веществ содержится в монографии «Лепесток» (легкие респираторы)», подготовленной под редакцией И.В. Петрянова [26].

Огромную роль при выполнении советского Атомного проекта сыграли аналитические фильтры (фильтра АФА) и фильтрующие ленты, с помощью которых производилась оценка санитарно-гигиенической обстановки воздушной среды на всех предприятиях атомной промышленности [27]. Фильтрующие ленты стали определяющим элементом в средствах измерения радиоактивных аэрозолей в новой отрасли – ядерном приборостроении [28]. Фильтрующие материалы из полиарилата позволили одновременно улавливать аэрозоли и газообразные формы радиоизотопов рутения [29]. Под руководством И.В. Петрянова для атомной промышленности были созданы самоочищающиеся фильтры в ядерно-безопасном исполнении, которые использовались при переработке обогащенного урана в технологических процессах, приводящих к образованию радиоактивных капельно-жидких туманов [30]. В

дальнейшем они получили распространение и в других отраслях промышленности. Оригинальностью и практической важностью отличались разработанные в лаборатории аэрозолей Карповского института башни с автофильтрующим слоем для очистки выбросов гексафторидного производства, радиационно-электрические фильтры (РЭФ), системы газгольдерной защиты для снижения выбросов радиоактивных благородных газов и “стерегущей” защиты на радиохимическом заводе [31].

К концу 1960-х годов под руководством И.В. Петрянова были разработаны и внедрены в практику многие средства, оборудование, аппаратура и материалы для контроля и улавливания радиоактивных аэрозолей и газов. Все это послужило основой для решения Минсредмаша превратить лабораторию аэрозолей Физико-химического института им. Л.Я. Карпова в головную организацию по предупреждению образования радиоактивных аэрозолей и борьбе с ними. При НТС Минсредмаша была создана аэрозольная секция, председателем которой был назначен И.В. Петрянов [24, 25].

В 1966 г. коллективу работников химической и атомной промышленности во главе с академиком И.В. Петряновым была присуждена Ленинская премия за разработку теории и технологии получения новых фильтрующих материалов и их внедрение в атомную промышленность.

В 1998 г. в память об Игоре Васильевиче в серии «Творцы атомного века» вышла книга «И.В. Петрянов-Соколов. О себе и своем деле, о нем и его делах», в которой представлены некоторые его публикации и воспоминания коллег, друзей и родственников [32]. К столетию академика И.В. Петрянова-Соколова издательство «Наука» в серии «Памятники отечественной науки. XX век» выпустило его «Избранные труды» [33].

Список литературы

1. Головин И.Н. От Лаборатории № 2 до Курчатовского института // Курчатовский институт. История атомного проекта. 1995. М.: РНЦ «Курчатовский институт». – Вып. 1. – С. 3 – 35.
2. Атомный проект СССР: Документы и материалы: В 3 т. / Под общей редакцией Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945 – 1954 гг. Книга 1 / Министерство РФ по атомной энергии; отв. сост. Г.А. Гончаров. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1999. – 719 с.
3. Атомный проект СССР: Документы и материалы: В 3 т. / Под общей редакцией Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945 – 1954 гг. Книга 2 / Министерство РФ по атомной энергии; отв. сост. Г.А. Гончаров. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000. – 640 с.
4. Атомный проект СССР: Документы и материалы: В 3 т. / Под общей редакцией Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945 – 1954 гг. Книга 3 / Министерство РФ по атомной энергии; отв. сост. Г.А. Гончаров. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, М.: Наука-Физматлит, 2002. – 896 с.
5. Атомный проект СССР: Документы и материалы: В 3 т. / Под общей редакцией Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945 – 1954 гг. Книга 4 / Министерство РФ по атомной энергии; отв. сост. Г.А. Гончаров. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, М.: Наука-Физматлит, 2003. – 816 с.
6. Атомный проект СССР: Документы и материалы: В 3 т. / Под общей редакцией Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945 – 1954 гг. Книга 5 / Федеральное агентство по атомной энергии; отв. сост. Г.А. Гончаров. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, М.: Наука-Физматлит, 2005. – 976 с.
7. Зельвенский Я.Д. Профессор МХТИ им. Д.И. Менделеева // И.В. Петрянов-Соколов. О себе и своем деле, о нем и о его делах. М.: ИздАТ, 1998. – 512 с. – С. 391 – 394.
8. Андреев Б.М. Годы на кафедре 44 // Там же. – С. 398 – 400.

9. Розен А.М. Ясные мысли не только в Полярную ночь // Там же. – С. 416 – 419.
10. Смит Г.Д. Атомная энергия для военных целей (перевод с английского под ред. Г.Н. Иванова). 1946. М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство.
11. Садовский Б.Ф. Страницы памяти // Исторический вестник РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2007. - № 21 (1). – С. 32 – 37.
12. Куликов С.М. Авиация и ядерные испытания (записки испытателя) // 1998. М.: ЦНИИАтоминформ. – 174 с.
13. Мезелев Л.М. Обвенчанные с радиацией // 1998. М.: Экспресс-полиграф-сервис.
14. Жучихин В.И. Первая атомная. 1995. М.: ИздАТ.
15. Круглов А.К. Как создавалась атомная промышленность в СССР. 2 изд. 1995. М.: ЦНИИАтоминформ.
16. Огородников Б.И. Икар, сохранивший крылья // Энергия: экономика, техника, экология. 1997. - № 3. – С. 41 - 50.
17. Харитон Ю.Б., Смирнов Ю.Н. Мифы и реальность советского атомного проекта // 1994. Арзамас-16: ВНИИЭФ. – 72 с.
18. Шапкин Л.Н. Монологи засекреченного ученого. 1992. Баку.
19. Муратов Б.А. Облако светит и греет // Ядерный архипелаг. 1995. ИздАТ. – С. 105 – 106.
20. Огородников Б.И., Будыка А.К., Борисов Н.Б. Средства мониторинга радиоактивных аэрозолей и газов в верхней атмосфере // Развитие системы мониторинга состава атмосферы (РСМСА): Всероссийская конф. Москва, 16 – 18 октября 2007 г.: Тезисы докл. 2007. – М.: МАКС Пресс. – С. 138.
21. Огородников Б.И., Кожевин В.И., Петрянов И.В. Исследование содержания влаги в стратосфере // Докл. АН СССР. 1971. – Т. 200. № 6. – С. 1333 – 1335.

22. Виноградов А.П., Девирц А.Л., Добкина Э.И., Петрянов И.В., Огородников Б.И. Стратосферные концентрации ^{14}C в 1967 – 1969 гг. // Докл. АН СССР. 1972. – Т. 205. № 4. – С. 824 – 826.
23. Девирц А.Л., Огородников Б.И. Изотопный состав водорода водяного пара в средней стратосфере // Геохимия. 2001. - № 8. – С. 901 – 903.
24. Маргулис У.Я. И.В. Петрянов и проблема безопасности // Шестые Петряновские чтения. Москва, 19 – 21 июня 2007 г.: Сборник тезисов докладов. 2007. М.: МГИУ. – С. 16.
25. Петрянов И.В., Садовский Б.Ф., Басманов П.И., Борисов Н.Б. Аэрозольная безопасность при выполнении советского Атомного проекта // Международный симпозиум «Наука и общество: история советского Атомного проекта (40-е – 50-е годы)», Дубна, 14 – 18 мая 1996 г. Труды международного симпозиума ИСАП-96. 2003. М.: ИздАТ. – С. 121 – 126.
26. Петрянов И.В., Кощев В.С., Басманов П.И. и др. «Лепесток» (Легкие респираторы). 1984. М.: Наука. – 216 с.
27. Басманов П.И. Разработка, промышленный выпуск, области применения фильтров АФА // Шестые Петряновские чтения. Москва, 19 – 21 июня 2007 г.: Сб. тезисов докл. 2007. М.: МГИУ. – С. 76 - 78.
28. Артеменкова Л.В., Ризин А.И., Фертман Д.Е. Фильтры и ленты Петрянова в средствах измерений и эталонах радиоактивных аэрозолей, созданных ФГУП «Научно-инженерный центр «СНИИП» // Там же. – С. 53.
29. Садовский Б.Ф. 50 лет поисков и свершений под руководством академика И.В. Петрянова // Там же. – С. 19 - 20.
30. Садовский Б.Ф. История развития исследований в области защиты атмосферы от радиоактивных туманов, разработка принципа действия, теории процесса и создание конструкций самоочищающихся фильтров // Там же. – С. 21 - 22.

31. Садовский Б.Ф. Памяти Владимира Ивановича Козлова. К 75-летию со дня рождения // Там же. – С. 17 - 18.
32. И.В. Петрянов-Соколов. О себе и своем деле, о нем и его делах. Серия «Творцы атомного века». Составитель Б.И. Огородников. 1998. М.: ИздАТ. – 512 с.
33. Петрянов-Соколов И.В. Избранные труды: к 100-летию со дня рождения [отв. ред. А.К. Будыка, Б.И. Огородников]. Серия «Памятники отечественной науки. XX век». М.: Наука, 2007. – 453 с.

ОБЗОРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ МИКРО- И НАНОВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ФП

Филатов Ю.Н.

ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 105064, Москва, ул. Воронцово поле, 10

Ключевые слова: фильтрующий материал, процесс электроформования, нановолокна, микроволокна.

19 июня 2007 года исполняется 100 лет со дня рождения академика Игоря Васильевича Петрянова-Соколова.

«Петрянов-Соколов Иг. Вас. (р. 1907), сов. физико-химик, акад. АН СССР (1966), Герой Соц. Труда (1971). Тр. по природным и искусств. аэродисперсным системам (устойчивость, электр. свойства и др.). Разработал принципиально новые фильтрующие материалы (фильтры П.). Лен. пр. (1966). Гос. пр. СССР (1941).» - выписка из советского энциклопедического словаря [1].

Вот краткие, скупые строки о нашем выдающемся современнике, талантливом ученом, научные труды которого навсегда вошли в историю развития советской науки XX столетия.

Имя академика Игоря Васильевича Петрянова-Соколова неразрывно связано с его «детищем»



Фото 1. Академик И.В.Петрянов-Соколов, художник А.Китаев

– полимерными микроволокнистыми материалами – «Фильтры Петрянова[®]», полученные методом электроформования.

Среди известных промышленных методов получения химических волокон и волокнистых структур на их основе электроформование нетканых волокнистых материалов занимает особое место, отличаясь аппаратурной простотой, высокой энергетической эффективностью, гибкостью технологического процесса и разнообразием продукции. По своему аппаратурному оформлению и характеру электроформование является сухим бесфильтрным методом, в котором деформация исходного полимерного раствора, последующий транспорт отверждаемых при испарении растворителя волокон и формирование волокнистого слоя осуществляется исключительно электрическими силами и в едином рабочем пространстве.

Прототипом метода электроформования является метод электрогидродинамического распыления жидкостей, в котором вытекающая из дозирующего сопла, находящегося под постоянным высоким электрическим напряжением, слабопроводящая жидкость распыляется силами отталкивания одноименных электрических зарядов на очень мелкие капли, которые затем можно прицельно осадить на противоположный электрод.

Уже при первой попытке исследовать это явление в 1745 году Дж.М. Бозе обнаружил, что в определенных условиях облаку распыленных капель предшествует струйное течение. В период 1912-31 годов сначала Е.Ф.Бартон и В.Б.Виганд [2], а затем Д.Зелени [3 - 6] и В.А.Макки [7] подтвердили и подробно исследовали этот режим. Однако, ни в этих, ни в последующих исследованиях [8, 9], обеспечивших методу электрораспыления жидкостей достаточно широкий спектр практического применения в современной технике (получение монодисперсных и мономобильных аэрозолей, струйная печать и микрокапсулирование,

распыление диэлектрических и криогенных жидкостей, прицельное нанесение ядохимикатов и полифункциональных покрытий), нет никаких упоминаний о возможности использования режима струйного течения для генерации волокон.

Эта возможность была реализована параллельно другими авторами и, в конечном счете, привела к созданию промышленного метода электроформования. Первые патенты на получение волокон из струи раствора, вводимого в пространство с сильным электрическим полем, выданы в США в 1902 году Мортону [10, 11], но они не были реализованы из-за ограниченной прочности волокнистого слоя. Первый реальный успех здесь был достигнут в 1930 году, когда А.Формхолс [12] предложил использовать для генерации волокон растворы полимерной смолы. В 1936 году К.Л.Нортон [13] развил этот метод применительно к расплавам и растворам каучука и других синтетических смол, однако серьезного практического применения эти патенты также не имели из-за низкого качества и сомнительной конкурентной способности полученной волокнистой продукции.

Решающий перелом в развитии и практической реализации метода ЭФВ был достигнут в 1938 году, в СССР, когда в Московском Научно-исследовательском физико-химическом институте им.Л.Я.Карпова (НИФХИ), в лаборатории аэрозолей, руководимой Н.А.Фуксом, его молодые сотрудники Н.Д.Розенблюм и И.В.Петрянов-Соколов при попытке получить твердые сферические монодисперсные аэрозольные частицы нитроцеллюлозы из ее раствора в ацетоне методом ЭРЖ неожиданно натолкнулись на парадоксальный результат: ожидая получить в поле высокого напряжения монодисперсный аэрозоль, вместо него получили тончайшие микроволокна.

Авторы этого «неудачного эксперимента» задумались, нельзя ли использовать эти микроволокна для улавливания микрочастиц – т.е.

аэрозолей. Научные руководители института академики Н.А.Бах и А.Н.Фрумкин поддержали идею молодых ученых и вскоре на имя Н.А.Фукса и И.В.Петрянова-Соколова было получено первое авторское свидетельство. [14]

Фотография (фото 2) относится примерно ко времени этого научного открытия, когда институт посетили лауреаты Нобелевской премии Фредерик Жолио-Кюри и Ирен Кюри. В 1939 году молодой ученый И.В.Петрянов



Фото 2. И.В.Петрянов, Н.А.Фукс, А.Н.Фрумкин, Фредерик Жолио-Кюри, Ирен Кюри, Н.А.Бах, А.Н.Бах в лаборатории аэрозолей НИФХИ им. Л.Я.Карпова 26 сентября 1936 г.

выполнил первую серьезную научную работу в области электроформования волокнистых материалов. Учёный совет, рассмотрев её, рекомендовал к присуждению автору учёной степени не кандидата, а доктора наук.

Основным достижением в данной работе явилось использование в качестве рабочей жидкости высокомолекулярных волокнообразующих полимерных растворов, что позволило перейти от известного ранее электрораспыления к электроформованию тончайших полимерных волокон. Именно разница между мономерными и высокомолекулярными жидкостями, обусловленная аномальными реологическими свойствами полимеров, приводит к гашению капиллярных волн в образующихся заряженных жидких струях, а также к повышению их устойчивости к большим деформационным нагрузкам. Это обстоятельство обеспечивает отверждение жидких струй в волокна при испарении растворителя и

образование волокнистого слоя с регулируемыми в широком диапазоне микро- и макроскопическими свойствами.

На рисунке 3 изображена типичная для этих процессов схема установки, на которой условно выделены три характерные зоны, соответствующие их основным стадиям. Технологические операции, указанные на схеме слева, относятся к ЭРЖ-процессу, а справа – к ЭФВ-процессу.

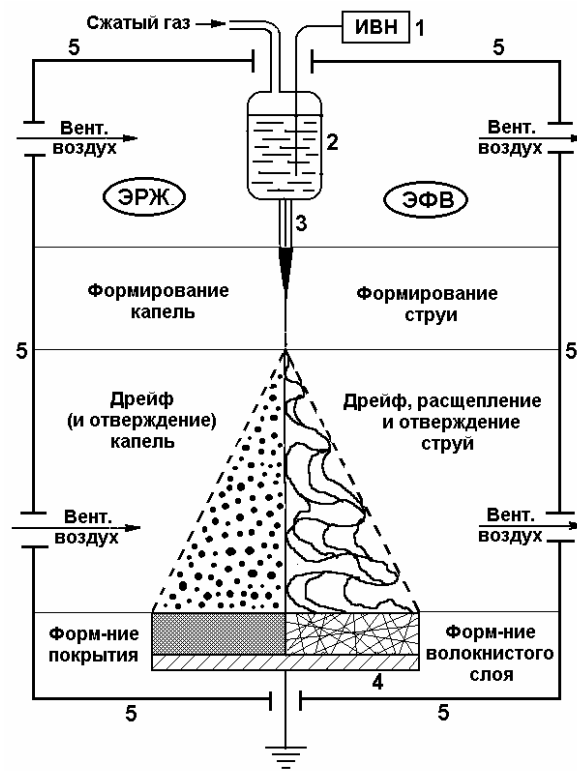


Рисунок 3. Схема установки для осуществления процессов электроформования и электрораспыления

К рабочей жидкости подводится регулируемое, высокое электрическое напряжение от источника 1. Из емкости 2 под собственным весом или избыточным давлением газа вытекает рабочая жидкость с заданным объемным расходом через капилляр 3. Под действием электрических сил образуется ускоряющаяся и утончающаяся свободная струя (фото 4), ось которой совпадает с направлением электрического поля. Одновременно происходит интенсивное испарение растворителя, при этом струя отверждается. Образующиеся волокна дрейфуют во внешнем электрическом поле на осадительный электрод 4, образуя на нем равномерные слои



Фото 4. Жидкая струя

нетканого материала, обладающего уникальными фильтрующими свойствами [15]

По соображениям оборонного характера, эта тема практически сразу после открытия в 1937 г. процесса электроформования микроволокон попала в разряд закрытых. Этим и объясняется тот факт, что мировая научная общественность практически не знакома с именем И.В.Петрянова, тогда как его учитель профессор Н.А.Фукс хорошо известен во всем мире, благодаря своему фундаментальному научному труду «Механика аэрозолей», изданному в СССР и за рубежом в 50-х годах. [16]

В конце 30-х годов в СССР шла активная подготовка к войне. Ученым-аэрозольщикам Наркоматом обороны были поставлены задачи по созданию современных боевых противогазов для защиты солдат от химического оружия, которое активно разрабатывалось в те годы в фашистской Германии. В военные годы были запущены первые заводы: сначала в Твери, а потом в Перми, изготавливающие секретные фильтрующие материалы.

В то время этот материал был признан лучшим противодымным средством. Первое свое название материал получил именно по этой разработке – «БФ» (Боевой фильтр), а разработчики И.В.Петрянов и Н.Д.Розенблюм были удостоены в 1941 году Сталинской премии.

Перед войной И.В.Петрянову было присвоено высокое воинское звание комбрига, а в 1943 году вручен Орден Ленина. Однако фильтры «БФ» в эту войну применить не пришлось. У германского командования хватило благоразумия не применять химическое оружие массового поражения.

В конце войны стало известно, что начинается новый виток гонки вооружения и бывшие союзники разрабатывают с помощью немецких ученых еще более разрушительное оружие массового поражения –

атомную бомбу, а затем и водородную. Появляется ранее неизвестное понятие «радиоактивные аэрозоли».

Допустимые концентрации радиоактивных веществ в воздухе в тысячи и миллионы раз меньше, чем для самых токсичных нерадиоактивных веществ. Например, допустимая норма для стронция-90, одного из самых опасных радиоактивных изотопов, составляет 10^{-9} мг/м³ (10^{-15} кюри/л). Это значит, что в целом кубометре воздуха не должно быть более 1 частицы размером в 1 мкм [17, 18].

Материалы ФП стали основой для создания средств коллективной и индивидуальной защиты органов дыхания от радиоактивных аэрозолей.

В конце 40-х годов ученый совет НИФХИ им. Л.Я.Карпова присвоил микроволокнистому материалу имя его главного разработчика И.В.Петрянова, и материал стал официально называться «Фильтр Петрянова». В 2004 году это название получило государственную регистрацию как товарный знак [19].

Первая широкая публикация о фильтрах Петрянова относится к 1968 году, когда в издательстве «Знание» вышла научно-популярная брошюра, в которой «читатели были ознакомлены с основными свойствами и характеристиками материалов ФП и некоторым направлениями применения их в народном хозяйстве и научных исследованиях» [18]. Материалы ФП и изделия на их основе стали широко известны в СССР, но способ их получения долгое время оставался закрытым, вплоть до развала СССР.

Фильтрация с помощью материалов ФП по сравнению с другими способами очистки воздуха и газов от высокодисперсных аэрозолей является наиболее простой, надежной и экономически целесообразной.

Фильтрующие свойства материалов ФП в значительной степени определяются его гидродинамическими характеристиками – средним диаметром волокон и плотностью упаковки волокон. Отличительной

особенностью материалов ФП является высокая равномерность распределения волокон в слое. Именно это отличает фильтрматериалы ФП от других известных волокнистых фильтров и придает им наиболее высокие фильтрующие свойства (фото 5).

В наиболее простом виде основной закон улавливания однородным фильтром монодисперсного аэрозоля формулируется так: каждый элементарный слой фильтра улавливает одну и ту же долю поступающих на него частиц. Эта доля зависит от диаметра

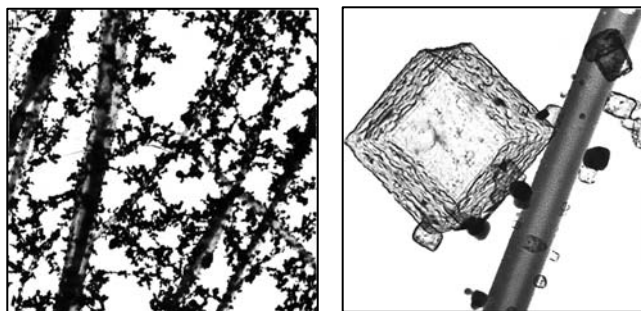


Фото 5. Слева – материал ФП с уловленным аэрозолем. Справа – частица хлорида натрия на волокне диаметром 200 нм

частиц и волокон, скорости фильтрации и некоторых других параметров фильтра и среды. Этот закон приводит к экспоненциальному виду зависимости проскока K от толщины фильтра, которая в свою очередь пропорциональна весовой плотности фильтра или его стандартному сопротивлению.

На основе фильтрующих материалов ФП разработаны средства улавливания и анализа высокодисперсных аэрозолей, нашедшие широкое применение в народном хозяйстве. В первую очередь сюда относятся фильтры тонкой очистки воздуха, средства индивидуальной защиты органов дыхания (фильтрующие респираторы), фильтры и фильтрующие ленты для анализа аэрозолей.

К фильтрам тонкой очистки вентиляционного воздуха относятся фильтры, обеспечивающие очистку приточного и вытяжного воздуха, а также воздуха систем кондиционирования и рециркуляции.

Наиболее распространенной конструкцией вентиляционных фильтров является конструкция рамочного фильтра ЛАИК (лаборатория аэрозолей

института Карпова). Эта конструкция позволяет развернуть в одном кубическом метре объема фильтра до ста квадратных метров фильтрующего материала. Внешний вид фильтра ЛАИК показан на фото 6 [20].

Применение фильтрующего материала ФП при создании средств индивидуальной защиты органов дыхания от аэрозолей способствовало разработке новые респираторы, отличающиеся высокими фильтрующими свойствами и удобством в эксплуатации.

Наличие высоких и стойких электростатических зарядов на материалах ФП позволило использовать их в качестве фильтрующих элементов с малым сопротивлением, но чрезвычайно высокой задерживающей способностью всех аэрозолей, в том числе и высокодисперсных.

Наиболее распространенными респираторами, выпускаемыми отечественной промышленностью на основе материалов ФП являются «Лепесток[®]», «Алина[®]», «Кама» и «У-2К» [21].

За 50 лет промышленного производства респиратора «Лепесток[®]» (фото 7) выпущено более 5 млрд. шт.

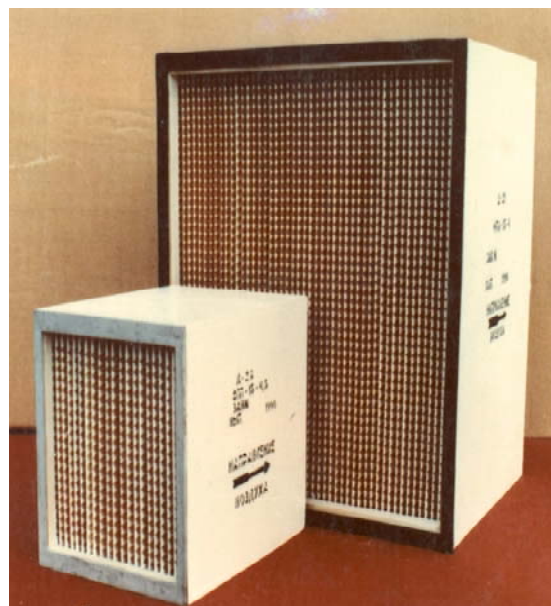


Фото 6. Рамочный аэрозольный фильтр



Фото 7. Респиратор «Лепесток»

Проблема исследования аэродисперсных примесей в газах в настоящее время имеет первостепенное значение в области экологии. Точное измерение содержания минеральной пыли является необходимым условием для организации правильного режима работы в горной, угольной, металлургической и других отраслях промышленности. Контроль загрязненности производственной атмосферы токсичными аэродисперсными примесями обязателен для отраслей химического, силикатного, строительного, текстильного и многих других производств. Исключительное значение имеет проблема исследования загрязненности воздуха радиоактивными и бактериальными аэрозолями.

На основе материалов ФП разработаны аналитические средства, (фото 8) с помощью которых проводится мониторинг экологической обстановки в регионах России и странах СНГ [18].



Фото 8. Аналитические фильтры АФА

На основе материалов ФП созданы сепараторы химических источников тока, которые обладают уникальными электрофизическими характеристиками. Эти сепараторы являются незаменимыми в щелочных, никелькадмиевых батареях, отличающиеся высокой надежностью и долговечностью [22, 23].

Материалы ФП с успехом используются и для фильтрации жидкостей. Положительный опыт накоплен в области очистки агрессивных растворителей для микроэлектроники, а также для очистки парфюмерных жидкостей. На основе материалов ФП созданы индикаторы качества топлива ИКТ, с помощью которых осуществляется контроль авиационного топлива на всех аэродромах России и стран СНГ [24, 25, 26].

Большая роль в разработке и внедрении в промышленность этих важных для народного хозяйства изделий принадлежит второму поколению научной школы академика И.В.Петрянова.

За решение проблемы очистки воздуха от радиоактивных аэрозолей на объектах атомной промышленности академику И.В.Петрянову было присвоено высокое звание Героя Социалистического Труда, а его научный коллектив удостоен в 1966 году Ленинской премии (фото 9).

В 70-е годы в лабораторию

Аэрозолей пришло уже третье поколение молодых ученых, внесших свой вклад в науку в то довольно трудное «застойное» время (фото 10). Вот

как об этом вспоминает директор института академик Я.М. Колотыркин:

«Меня радует творческая смелость и активность наших комсомольцев, но сегодня этого уже мало. По мере того как растет роль науки, все острее встает



Фото 9. П.И.Басманов, Н.Б.Борисов, И.В.Петрянов, Б.Ф.Садовский, В.И.Козлов, Б.И.Огородников



Фото 10. А.А.Захарьян, Ю.Н.Филатов, И.В.Петрянов, А.Д.Шепелев, М.С.Якушкин, В.А.Рыкунов

вопрос о повышении эффективности научных исследований, о быстрейшем освоении их результатов. Ведь с каждым годом наука становится более дорогостоящей. В среднем через десять лет затраты на одного научного работника удваиваются. Естественно, коэффициент «отдачи» ученых начинает приобретать все большее значение. Надо использовать и развивать все методы, которые повышают производительность труда ученых.

Особенно ценно, когда новые формы находит молодежь. В нашем институте существует интересное и весьма эффективное объединение молодых творческих сил комсомольско-молодежный коллектив, руководимый молодым сотрудником, кандидатом наук Ю.Филатовым. Возник он пять лет назад, когда группа молодых ребят из лаборатории академика И.В.Петрянова-Соколова решила попробовать свои силы в абсолютно самостоятельной работе. Они взяли непростую, жизненно важную задачу – разработку и внедрение новых термостойких фильтрующих материалов в микробиологическую и пищевую промышленность. За короткое время им удалось создать отвечающий всем необходимым качествам полимер, из которого можно было получать волокна для фильтров. Молодые конструкторы, вовлеченные в работу коллектива, разработали оригинальные конструкции новых фильтров. Внедрением их в медицину и промышленность занимались наряду с нашими сотрудниками молодые специалисты из Свердловска, Уфы, Алматы, Эстонии, также вошедшие в коллектив. Они сумели организовать заводское производство полимера и фильтрующих материалов. Экономический эффект от применения этих материалов в микробиологической и пищевой промышленности составил более миллиона рублей. Работа коллектива уже дважды была отмечена премиями: в 1979 году – премией Московского комсомола и в 1982 году – премией Ленинского комсомола» [27].

В 90-х годах, когда в стране разразился экономический кризис и финансирование науки практически прекратилось, вопросы экологии и охраны труда мало кого интересовали.

Но научная школа Петрянова пыталась выжить и в это время. Ученые – сотрудники лаборатории обобщили и защитили Российскими патентами накопленный за 60 лет богатый экспериментальный и теоретический опыт. Перед уходом из жизни 19 мая 1996 года Игорь Васильевич успел одобрить инициативу написания и публикации первой монографии по электроформованию микроволокон. В 1997 году монография была опубликована и практически сразу же разошлась среди специалистов. Активным рецензентом монографии стала соратница И.В.Петрянова – профессор, доктор химических наук Наталья Дмитриевна Розенблюм [15].

Одновременно монография послужила основой для создания учебного пособия одноименного названия с расширенным авторским коллективом для студентов Кубанского государственного технологического университета по специальности экоохранных технологий [28].

В 2003 году была издана вторая монография, являющаяся логическим продолжением первой, и посвященная высокоэффективной очистке газов от аэрозолей фильтрами Петрянова [20].

За десять «не востребуемых» лет научной школе академика И.В.Петрянова удалось переосмыслить накопленный материал и сформулировать направления, позволяющие выйти на новый уровень требований, предъявляемых к нанотехнологиям XXI века.

К этому времени экономическое положение в стране стало стабилизироваться. Особенно это стало заметным в последние годы, когда исходя из стратегического курса страны, атомной энергетике уделяется повышенное внимание. В последующие десятилетия планируется значительный рост строительства новых энергоблоков АЭС. Возросшее

финансирование науки позволило привлечь молодых специалистов – уже четвертое поколение научной школы И.В.Петрянова.

К числу последних отечественных разработок в области электроформования можно отнести получение новых материалов ФП с применением различных полимерных добавок (высокомолекулярных, высокоэластических) с целью улучшения механических свойств респираторных материалов [29], позволяющих значительно снизить сопротивление дыханию респираторов «Лепесток» при сохранении их эффективности на высоком уровне, а также создание аналитических лент нового поколения на основе нановолокон, не уступающих по качеству мировому лидеру по производству этой продукции – фирме Millipore [30].

Интересное и совершенно новое применение находят сегодня материалы ФП в здравоохранении в качестве атравматических перевязочных средств. Это направление особенно быстро развивается в западных странах [31, 32].

К 100-летию И.В.Петрянова была выпущена монография, посвященная физико-химическим основам электроформования, а также технологическим аспектам промышленного производства материалов ФП, которая дополняет ранее изданные труды в этой области [33].

За рубежом, в таких странах как: США, Германия, Япония, Корея и Китай, процессом электроспиннинга (electrospinning) (процесс электроформования или ЭФВ-процесс) серьезно заинтересовались только в конце 90-х годов XX-го века. В последние десять лет наблюдается необычайный всплеск в зарубежных изданиях научных публикаций по процессу электроформования. Было опубликовано более 500 статей и патентов в этой области [34].

ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я.Карпова активно участвует в международных выставках по проблемам фильтрации. Новые разработки лаборатории Аэрозолей отмечены золотыми медалями международных

выставок «Архимед 2001» (Москва), «Неделя высоких технологий 2002» (Санкт-Петербург), «Eureka-2005» (Брюссель), «Concourse Lepine 2006» (Париж), серебряной медалью международной выставки «Salon international des inventions 2006» (Женева) и дипломом международной выставки «IENA 2006» (Нюрнберг).

В последние годы научная школа И.В.Петрянова стала известна и за рубежом. В институт периодически приезжают специалисты из разных стран мира. В Нью-Йорке в 2007 году в издательстве Begell House, Inc. Publishers опубликована монография российских ученых, переведенная на английский язык, которая обобщает опыт научной школы И.В.Петрянова в области электроформования микро- и нановолокон и высокоэффективной фильтрации материалами ФП [35].

В июне 2007 года в Президиуме РАН состоялась международная конференция «VI Петряновские чтения», посвященная 100-летию со дня рождения академика И.В.Петрянова, на которой было представлено более 50 работ, выполненных как учеными старшего поколения, так и более 10 докладов по работам, выполненным учеными младшего поколения научной школы академика И.В. Петрянова. Последнее обстоятельство вселяет уверенность в завтрашнем дне одной из известных отечественных научных школ.

Литература

1. Советский энциклопедический словарь. М: Советская энциклопедия, 1982.
2. E.F. Burton, W.B. Wiegand. Phyl. Mag. (1912). Published by the University of Toronto.
3. J. Zeleny. Phys. Rev., (1914), v.3. p.69.
4. J. Zeleny. Proc. Cambridge Phyl. Soc., (1915), v. 18, p. 71.
5. J. Zeleny. Phys. Rev., (1917), v.10 (2), p. 1.

6. J. Zeleny. Phys. Rev., (1920), v.16 (2), p. 102.
7. W.A. Macky. Proc. Roy. Soc. London., (1931), v.A133. p.565.
8. Н.А. Фукс, В.И. Коженков., Усп. хим., (1976), т.45. с.2274-2284.
9. A.G. Bailey. Atomisation and Spray Technol. (1986), v.2. N2. p.95-134.
10. Патент США N692631. (1902).
11. Патент США N705691. (1902).
12. Патент США N1975504, (1930).
13. Патент США N2048651. (1936).
14. И.В. Петрянов-Соколов, Н.А. Фукс. Авторское свидетельство СССР № 3444, 1938 г.
15. Ю.Н. Филатов. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). Монография. М.: Нефть и газ, 1997 г.
16. Н.А. Фукс Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
17. Л.С. Рuzер. Радиоактивные аэрозоли. М.: Энергоатомиздат, 2001 г.
18. И.В. Петрянов, В.И. Козлов, П.И. Басманов, Б.И. Огородников. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М.: Знание, 1968 г.
19. Товарный знак РФ. Свидетельство № 297046 от 25.05.2004 г.
20. П.И. Басманов, В.Н. Кириченко, Ю.Н. Филатов, Ю.Л. Юров. Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. Монография. М.: Наука, 2003 г.
21. П.И. Басманов, С.Л. Каминский, А.В. Коробейникова, М.Е. Трубицына. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Справочное руководство. СПб.: ГИПП «Искусство России», 2002 г.
22. Б.Ф. Садовский, А.К. Будыка, Ю.Н. Филатов, А.А. Захарьян и др., Патент РФ № 2279458, 2003 г.
23. Б.Ф. Садовский, А.К. Будыка, Ю.Н. Филатов, А.А. Захарьян и др., Патент РФ № 2279457, 2003 г.
24. Ю.Н. Филатов, В.Ф. Володин, В.Н. Макшанов. Патент РФ № 2 005 533. 1994 г.

25. Ю.Н. Филатов, А.К. Будыка, О.П. Осипов, С.Г. Саакян. Патент РФ № 2 249 207, 2005 г.
26. Адамян А.А., Полевов В.Н., Шепелёв А.Д., Беленькая Б.Г. и др. Патент РФ № 2031661. 1991 г.
27. Яков Михайлович Колотыркин. Автобиографические записки, избранные статьи и интервью, воспоминания. Под ред. В.А.Махлина. М.: НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 2004 г.
28. В.Н. Кириченко, Ю.Н. Филатов, Ю.Л. Юров. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). Монография. Учебное пособие. Новороссийск: Изд. Новороссийского филиала Кубанского Государственного технологического университета. Серия: Экоохранные технологии, вып. 1. 1997 г.
29. Ю.Н. Филатов, А.К. Будыка, В.Г. Мамагулашвили, И.Ю. Филатов. Патент РФ № 2283164. 2006 г.
30. Ю.Н. Филатов, А.К. Будыка, Ю.Н. Мартынюк, И.Ю. Филатов. Патент РФ № 2282846, 2004 г.
31. Полевов В.Н., Васильев Ю.Н., Кириченко В.Н. и др. Патент РФ № 2111300. 1997 г.
32. Полевов В.Н., Васильев Ю.Н., Кириченко В.Н. и др. Патент РФ № 2126692. 1997 г.
33. Э.А. Дружинин. Производство и свойства фильтрующих материалов Петрянова из ультратонких полимерных волокон. М.: ИздАТ, 2007 г.
34. S. Ramakrishna, K. Fujihara et al. Electrospun nanofibers: solving global issues. *Materials today*, March 2006, vol. 9, N 3.
35. Y. Filatov, A. Budyka, V. Kirichenko. *Electrospinning of micro- and nanofibers*. Begell House, Inc. Publishers, 2007.

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТНЫМ И ДИСПЕРСНЫМ СОСТАВОМ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА УЧАСТКЕ МОСКВА-ВЛАДИВОСТОК

**Андропова А.В., Иорданский М.А., Минашкин В.М., Невский И.А.,
Обвинцев Ю.И., Трефилова А.В.**

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

Введение

Железная дорога обеспечивает перевозку различных грузов, включая нефть, полиметаллические руды, уголь и т.п. При этом происходит загрязнение атмосферного воздуха, грунта полотна железной дороги, балластной призмы и почв землеотводов из-за проливов, пыления, испарения и т.д. Существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха над территорией железной дороги вносят крупные города и промышленные центры, добывающие предприятия, вблизи которых она проходит, газо-, нефте- и продуктопроводы, находящиеся около железной дороги, а также различные природные процессы и явления.

В настоящей работе обсуждаются результаты экспериментов, полученные в экспедициях TROICA-8 (март 2004 г.) и TROICA-9 (октябрь 2005 г.) в рамках Проектов МНТЦ № 1235 и 2773. Задачами экспедиций было определение уровня концентрации химических элементов, изучение частиц-носителей химических элементов и выявление основных источников поступления загрязняющих веществ на трассе Москва-Хабаровск.

Для решения поставленных задач был проведен элементный анализ грунта полотна железной дороги и атмосферных аэрозолей, определены корреляционные связи между химическими элементами и размером частиц, рассчитаны коэффициенты обогащения аэрозолей и грунта полотна железной дороги. Результаты анализа приводятся для двух сезонов (весна - осень) и для пяти природно-территориальных комплексов (ПТК). Первый ПТК - Восточно-Европейская равнина (участок маршрута 0 – 1500 км). Второй - Средний Урал

(1500 - 2100 км). Третий - Западно-Сибирская равнина (2100 – 4200 км). Четвёртый – горы Южной Сибири (4200 – 7500 км), включающий Прибайкалье и Забайкалье. Пятый - Амуру-Зейская равнина (7500-8550 км). Характеристики ПТК и описание измерительного комплекса приведены в работе [1].

Методика отбора проб и анализ полученных данных

Пробы грунта с полотна железной дороги, представляющие собой поверхностный слой до глубины около 5 см, были взяты в экспедиции ТРОИКА-7 (пять-семь проб в каждом ПТК). В дальнейшем приблизительно в тех же районах проводили отбор аэрозольных проб на химический анализ. Вагон-лаборатория располагался непосредственно за электровозом. Воздух прокачивали специально рассчитанным и изготовленным аспирационным устройством с высоты 4 м от полотна железной дороги на фильтры АФА-ХА с расходом 12 м³/ч в течение часа или более, в зависимости от концентраций аэрозолей в атмосфере. Элементный состав проб аэрозолей и грунта определяли методами рентгено-флуоресцентного анализа и масспектрометрии.

Для выявления источников поступления химических элементов в атмосферу и оценки степени ее загрязнения рассчитывались коэффициенты обогащения почвы и аэрозолей элементами EF [2, 7, 8] относительно кларков (среднего содержания элементов в земной коре) по Виноградову [9] и среднего содержания элементов в грунте полотна железной дороги. Для почвы коэффициент обогащения был определен относительно кларков. Одновременно с отбором проб аэрозолей проводились измерения массовой и счетной концентраций аэрозольных частиц нефелометром и анализаторами спектра для 15 диапазонов размеров частиц в интервале от 0.15 до 15 мкм.

Результаты измерений и обсуждение

Элементный состав грунта полотна железной дороги определяется двумя составляющими: литогенной, отражающей элементный состав почвы тех мест,

где он был взят для отсыпки железнодорожной насыпи, и техногенной, связанной с деятельностью железной дороги и окружающих промышленных предприятий. Общее представление о среднем процентном содержании химических элементов в грунте полотна железной дороги по ПТК, полученное методом рентгено-флуоресцентного анализа (РФА), дает табл. 1. В табл. 2 представлены коэффициенты обогащения $E_{F_{Г-К}}$ химических элементов в грунте полотна железной дороги относительно кларков (опорный элемент алюминий).

Таблица 1.

Среднее значение относительного элементного состава почв полотна железной дороги по ПТК

Регион	1-ПТК	2-ПТК	3-ПТК	4-ПТК	5-ПТК
Элемент	% масс.	% масс.	% масс.	% масс.	% масс.
Mg	6.9735	10.2088	12.7885	3.5184	1.0527
Al	2.2588	4.0445	2.681	6.8448	7.2928
Si	24.842	16.8728	21.871	25.7967	22.4405
P	0.3868	0.3332	0.3434	0.4601	0.3987
S	0.2868	0.3445	0.276	0.4839	0.3532
Cl	0.0433	0.0935	0.0688	0.0277	0.0598
K	0.5975	0.4653	0.6215	1.2019	1.6152
Ca	1.962	1.3688	1.4069	2.2496	2.3092
Ti	0.1278	0.1513	0.1101	0.303	0.35
Cr	0.1175	0.1155	0.0735	0.035	0.01
Mn	0.2178	0.2385	0.1759	0.2076	0.231
Fe	16.8868	23.2258	14.7483	11.5816	15.0847
Co	0.0555	0.045	0.0355	0.045	0.0525
Ni	0.1408	0.1883	0.2198	0.1262	0.04
Cu	0.1048	0.1308	0.054	0.0319	0.0218
Zn	0.078	0.0795	0.0611	0.1	0.346
Br	0.2683	0.1432	0.2828	0.1782	0.2217
Sr	0.2557	0.4455	0.5721	0.7058	0.8258
Mo	1.0915	0.9055	1.8335	0.7375	0.9035
Pb	0.291	0.3886	0.4648	0.2982	0.37
V	0.0268	0.0263	0.0215	0.0492	0.0375
Cd	0.0235	0.049	0.1627	0.0577	0.0722
Ba	0.2533	0.0615	0.061	0.1714	0.117
Sn	0.566	0.2085	0.1435	0.195	0.133
Cs	0.087	0.0795	0.0694	0.1032	0.1175
Hg	0.8515	0.599	1.019	0.576	0.822
Sc	0.0009	0.0008	0.0007	0.0006	0.0008
Se	0.223	0.14	0.0667	0.1583	0.1238

Таблица 2.

Коэффициент обогащения элементов $EF_{Г-К}$ в почве полотна железной дороги по ПТК относительно кларков (опорный элемент Al)

Регион	1-ПТК	2-ПТК	3-ПТК	4-ПТК	5-ПТК
Элемент	EF	EF	EF	EF	EF
Mg	13	11	21	2	0.64
Al	1	1	1	1	1
Si	3	1.15	2.25	1	0.85
P	15	7	11	6	5
S	22	15	18	12	8
Cl	9	11	12	2	4
K	0.85	0.37	0.75	0.57	0.71
Ca	2.35	0.95	1.45	0.87	0.85
Ti	1	0.67	0.71	0.83	0.89
Cr	130	76	53	11	3
Mn	8	5	5	2	3
Fe	13	10	10	3	4
Co	116	56	48	26	33
Ni	86	65	114	26	8
Cu	79	55	35	8	5
Zn	33	19	22	14	46
Br	4550	1358	4044	999	1166
Sr	27	26	51	24	27
Mo	37333	18384	40987	7212	9369
Pb	648	484	873	219	255
V	11	6	7	6	5
Cd	6801	7510	37585	5221	6130
Ba	14	2	3	3	2
Sn	8518	1863	1411	839	607
Cs	838	428	563	328	351
Hg	385980	161171	301893	74653	112961
Sc	3	1.61	2.12	0.71	0.92
Se	167800	55792	40050	37269	27349

Из табл. 2 следует, что для Al, Si, Ca, Mn, K, Ti и Sc, которые являются литогенной основой состава грунта, значения коэффициента обогащения $EF_{Г-К} \leq 10$, а в ряде случаев $EF_{Г-К} \leq 1$.

Коэффициенты обогащения грунта Mg, Fe, Ba, S, Cu, P, Cl, Ni, V и Cr менялся $10 \geq EF_{Г-К} > 10$ в зависимости от ПТК, что указывает на частичное аккумулярование этих элементов грунтом полотна железной дороги в отдельных ПТК. Коэффициенты обогащения грунта Sr, Cs, Br, Zn, Pb, Cd,

Se, Co, Hg, Mo и Sn значительно превышают 10 практически во всех ПТК, что связано с техногенным загрязнением и их аккумуляцией в грунте. Наиболее загрязнен грунт железнодорожного полотна в 1-ПТК, где 20 элементов имеет высокий коэффициент обогащения. Наиболее чистый грунт в 5-ПТК, где только 11 элементов имеют высокий коэффициент обогащения.

В табл. 3 приведены средние значения массового содержания химических элементов в составе атмосферного аэрозоля для каждого ПТК в весенний и осенний периоды. Данные получены при усреднении результатов измерений не менее семи проб в каждом ПТК (отсутствие значения означает, что количество элемента на всех фильтрах было ниже порога обнаружения).

В табл. 4 представлены коэффициенты обогащения EF_{A-K} химических элементов в аэрозолях относительно кларков (опорный элемент алюминий). В работах [10, 11] указывается, что химические элементы в составе аэрозолей, для которых значение $EF_{A-K} \leq 10$, можно считать естественного, в основном, литогенного происхождения. Химические элементы, для которых значение $EF_{A-K} > 10$, могут быть как природного (извержение вулканов, морской аэрозоль и пр.), так и техногенного происхождения.

Был проведен расчет коэффициентов обогащения химических элементов в аэрозолях и окружающей подстилающей поверхности, в нашем случае по грунту полотна железной дороги. Это позволило выделить вклад вторичной эмиссии аэрозолей в общее загрязнение атмосферных аэрозолей на трассе Москва-Хабаровск. Эмиссия аэрозолей с поверхности грунта резко возросла вследствие движения вагона-лаборатории и встречных поездов.

Таблица 3.

Средние значения массового содержания химических элементов (мкг/м³) в составе атмосферного аэрозоля

Регион	1-ПТК		2-ПТК		3-ПТК		4-ПТК		5-ПТК	
	мкг/м ³		мкг/м ³		мкг/м ³		мкг/м ³		мкг/м ³	
Элемент	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна
Mg	0.45264	0.05875	1.27519	0.07253	0.493	0.160	0.441	0.090	0.300	0.086
Al	0.84973	0.36170	1.06418	0.26335	0.973	0.695	1.829	0.664	2.366	0.527
Si	7.16359	2.42185	14.50509	0.62916	8.772	1.726	13.581	1.367	20.871	1.485
P	0.16059	0.05722	0.23198	0.0217	0.177	0.013	0.128	0.010	0.167	0.013
S	7.90661	1.60061	5.74619	1.64012	3.181	1.815	2.530	1.134	2.102	0.865
Cl	12.19229	3.06696	12.93178	2.76269	13.838	2.712	13.008	1.965	7.634	1.208
K	3.67551	0.38363	2.71136	0.24979	1.714	0.288	1.479	0.266	2.711	0.204
Ca	2.18865	0.37362	2.32475	0.31561	1.615	0.365	1.715	0.316	4.559	0.431
Ti	0.09654	0.05134	0.12670	0.03866	0.093	0.057	0.183	0.028	0.219	0.027
Cr	0.09058	0.03342	0.11946	0.04726	0.070	0.034	0.065	0.011	0.036	0.013
Mn	0.11995	0.04599	0.17832	0.02145	0.087	0.032	0.150	0.020	0.124	0.035
Fe	9.67228	2.42279	12.96344	1.48800	6.592	4.209	10.621	2.035	7.249	2.983
Co	0.01888	0.00104	0.02798	0.00087	0.008	0.001	0.016	0.001	0.007	0.001
Ni	0.09904	0.06828	0.10076	0.06661	0.085	0.051	0.085	0.027	0.039	0.021
Cu	0.89082	0.44538	0.21562	1.05590	0.532	0.498	0.658	0.180	0.341	0.062
Zn	0.24052	0.07807	0.39105	0.10660	0.129	0.085	0.085	0.034	0.187	0.019
As	0.02697	0.00008	0.05570	0.00268	0.015	0.004	0.016		0.007	
Br	0.03274		0.02790		0.029		0.006		0.016	0.002
Rb	0.00272	0.00074	0.00191	0.00052	0.003	0.001	0.003	0.001	0.008	0.001
Sr	0.00971	0.00316	0.00890	0.00291	0.011	0.005	0.016	0.006	0.026	0.006
Y	0.00697	0.00016	0.00023	0.00011	0.001	0.00023	0.007	0.00022	0.005	0.00029

Продолжение таблицы 3.

Регион	1-ПТК		2-ПТК		3-ПТК		4-ПТК		5-ПТК	
	мкг/м ³		мкг/м ³		мкг/м ³		мкг/м ³		мкм/м ³	
Элемент	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна
Zr	0.00807	0.00090	0.00792	0.00093	0.012	0.004	0.016	0.001	0.009	0.001
Nb	0.00842	0.00048	0.00772	0.00018	0.011	0.00029	0.016	0.00018	0.007	0.00014
Mo	0.01070	0.00182	0.00961	0.00264	0.011	0.003	0.010	0.001	0.005	0.001
Pb	0.10665	0.01757	0.31711	0.04612	0.035	0.069	0.063	0.014	0.037	0.011
V		0.02216	0.00475		0.006	0.037				
Ga	0.00127	0.00156	0.00203	0.00126	0.004	0.002	0.003	0.001		
Cd	0.00136	0.001	0.00358	0.00145	0.001	0.001	0.001	0.00024	0.0004	0.00016
Ag	0.00139	0.00123	0.00072	0.01412	0.001	0.001	0.001	0.00021	0.00031	0.00016
Ba	0.02628	0.02877	0.05289	0.06809	0.036	0.040	0.048	0.029	0.031	0.044
Sn	0.03661	0.01436	0.01774	0.01372	0.029	0.017	0.015	0.009	0.009	0.006
Sb	0.00478	0.00099	0.00524	0.00177	0.002	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001
Te	0.00023		0.00070				0.00033			
Cs	0.00036	0.00021	0.00025	0.00004	0.00019	0.00012	0.00049	0.00014	0.00018	0.00011
W	0.00293	0.00299	0.00469	0.00231	0.007	0.003	0.006	0.010	0.003	0.002
La	0.01635	0.00040	0.00386	0.00025	0.004	0.00048	0.001	0.00035	0.001	0.00046
Ce	0.00135	0.00063	0.00095	0.00044	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Pr	0.00011	0.00007	0.00008	0.00005	0.00008	0.00008	0.00016	0.00007	0.00016	0.00010
Nd	0.00042	0.00025	0.00041	0.00019	0.00040	0.00030	0.001	0.00028	0.001	0.00038
Sm	0.00103	0.00010	0.00017	0.00005	0.00028	0.00009	0.00024	0.00007	0.00019	0.00008
Eu	0.00025	0.00004	0.00005	0.00001	0.00011	0.00002	0.00006	0.00002	0.00004	0.00002
Gd	0.00142	0.00028	0.00031	0.00009	0.00039	0.00011	0.00039	0.00009	0.00021	0.00008

Окончание таблицы 3.

Регион	1-ПТК		2-ПТК		3-ПТК		4-ПТК		5-ПТК	
	мкг/м ³		мкг/м ³		мкг/м ³		мкг/м ³		мкм/м ³	
Элемент	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна
Tb	0.00004	0.00001	0.00001	0.00001	0.00014	0.00001	0.00004	0.00001	0.00001	0.00001
Dy	0.00052	0.00010	0.00017	0.00006	0.00019	0.00007	0.00024	0.00008	0.00006	0.00006
Ho	0.00028	0.00007	0.00007	0.00002	0.00003	0.00002	0.00013	0.00002	0.00002	0.00002
Er	0.00048	0.00007	0.00014	0.00005	0.00010	0.00007	0.00015	0.00004	0.00004	0.00004
Tm	0.00017	0.000004	0.00001	0.000002	0.00001	0.000004	0.00001	0.000004		0.000005
Yb	0.00062	0.00004	0.00005	0.00002	0.00012	0.00003	0.00008	0.00003	0.00003	0.00003
Lu	0.00002	0.000004	0.00001	0.00000	0.00007	0.00001	0.00001	0.000004		0.00001
Hf		0.00005	0.00003	0.00002	0.00013	0.00005	0.00013	0.00003		0.00002
Ta	0.00001	0.00040	0.00010	0.00006	0.001	0.00002	0.00034	0.00020	0.00006	
Re	0.00001	0.00033	0.00003	0.00004		0.00002	0.001	0.00001		
Hg	0.00063	0.00036	0.00042	0.00042	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00015	0.00029
Tl	0.00005	0.00003	0.00014	0.00002	0.00004	0.00007	0.00003	0.00004		0.00005
Sc					0.001	0.001	0.004			
Bi	0.00030	0.00016	0.00170	0.00054	0.004	0.00044	0.001	0.00013	0.00030	0.00009
Th	0.00014	0.00012	0.00009	0.00004	0.00011	0.00007	0.00021	0.00010	0.00018	0.00011
U	0.00048	0.00013	0.00019	0.00006	0.00019	0.00007	0.00038	0.00007	0.00005	0.00006
Li	0.00062	0.00047	0.00060	0.00050	0.003	0.001	0.002	0.00049	0.001	0.00048
Be	0.00001	0.00004	0.00003	0.00001	0.001	0.00003	0.00008	0.00007		0.00004
Na	1.37223	1.285	1.29280	1.18400	2.335	1.265	1.246	0.820	0.553	0.552
Se		0.030		0.01584	0.006					
Σ	47.50393	12.88781	56.74586	10.12024	40.95928	14.19968	48.06477	9.04515	49.63676	8.61193

Таблица 4.

Коэффициенты обогащения элементов EF_{A-K} в аэрозоле относительно кларков (опорный элемент алюминий)

Регион	EF_{A-K} 1-ПТК		EF_{A-K} 2-ПТК		EF_{A-K} 3-ПТК		EF_{A-K} 4-ПТК		EF_{A-K} 5-ПТК	
	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна
Mg	2	1	5	1	2	1	1	1	1	1
Al	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Si	2	2	4	1	2	1	2	1	2	1
P	16	14	19	7	16	2	6	1	6	2
S	1593	758	925	1067	560	447	237	292	152	281
Cl	6793	4015	5754	4968	6734	1847	3368	1401	1528	1086
K	14	3	8	3	6	1	3	1	4	1
Ca	7	3	6	3	5	1	3	1	5	2
Ti	2	3	2	3	2	1	2	1	2	1
Cr	252	219	266	425	169	116	84	39	36	57
Mn	11	10	13	7	7	4	7	2	4	5
Fe	20	12	21	10	12	10	10	5	5	10
Co	99	13	118	15	37	9	39	5	14	7
Ni	162	262	131	351	122	102	65	57	23	57
Cu	1795	2109	347	6867	936	1226	616	464	247	203
Zn	274	209	356	393	128	118	45	49	77	34
Br	1477		1005		1155		124		178	139
Sr	3	2	2	3	3	2	2	2	3	3
Mo	922	369	661	735	842	277	405	95	157	89
Pb	631	244	1499	881	183	497	175	109	79	101
V		55	4		6	48				
Cd	992	1192	2082	3408	411	648	195	221	98	187
Ba	4	10	6	32	5	7	3	5	2	10
Sn	1387	1279	537	1678	966	804	264	443	119	391
Cs	9	12	5	3	4	4	6	5	2	5
Hg	722	960	387	1560	1166	1349	652	1211	63	541
Sc					11	9	19			
As	1825	12	3010	584	875	364	505		77	
Rb	2	1	1	1	2	1	1	0.4	2	1
Y	23	1	1	1	2	1	10	1	6	2
Zr	4	1	4	2	6	3	4	1	2	1
Nb	40	5	29	3	45	2	35	1	11	1
Ga	6	18	8	20	15	10	7	8		
Ag	2194	4575	909	71912	1522	2101	602	433	178	417
Sb	905	440	792	1079	338	330	289	217	49	330
Te	21413		53317		14400					
W	214	513	273	543	452	226	192	908	81	282
La	53	3	10	3	10	2	2	1	2	2
Ce	2	5	1	5	1	3	1	3	1	4
Pr	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2

Окончание таблицы 4.

Nd	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
Sm	12	3	2	2	3	1	1	1	1	2
Eu	17	6	3	2	7	2	2	1	1	2
Gd	17	8	3	3	4	2	2	1	1	2
Tb	1	1	0.2	0.4	3	0.3	0.4	0.3	0.1	0.4
Dy	10	4	3	4	3	2	2	2	0.4	2
Ho	16	9	3	4	2	2	3	1	0.3	2
Er	14	5	3	4	3	3	2	2	0.4	2
Tm	59	3	2	2	2	2	2	2		3
Yb	178	24	11	15	31	10	11	9	3	14
Lu	2	1	1	1	7	1	1	1		1
Hf		10	2	8	11	5	6	4		3
Ta	0.3	35	3	8	25	1	6	9	0.8	
Re	939	104100	3644	17050		2574	40649	2086		
Tl	5	7	11	7	3	8	1	4		7
Bi	3114	3938	14292	18420	33199	5660	4852	1759	1136	1472
Th	1	2	1	1	1	1	1	1	0.4	1
U	18	12	6	7	6	3	7	3	1	4
Li	2	3	1	5	7	3	2	2	1	2
Be	0.3	3	1	1	13	1	1	2		2
Na	5	11	4	14	8	6	2	4	1	3

Пыление приводило к повышению коэффициентов обогащения атмосферных аэрозолей химическими элементами, аккумулированными в грунте. Расчет проведен для 24-х элементов, которые были идентифицированы как в аэрозолях, так и в грунте полотна железной дороги. Значения коэффициентов обогащения $EF_{A-Г}$ аэрозолей относительно грунта полотна железной дороги приведены в табл. 5 (опорный элемент алюминий).

Нормировка элементного состава атмосферных аэрозолей по составу грунта (основного источника эмиссии вещества в атмосферу) позволила нам считать, что химические элементы в аэрозолях, для которых значение $EF_{A-Г} \leq 2$, поступают с грунта, а химические элементы, для которых значение $EF_{A-Г} > 2$, поступают как с грунта, так и из других источников. Высокий коэффициент обогащения химических элементов в аэрозолях как

по кларкам, так и по грунту указывает на наличие техногенного источника их происхождения.

Таблица 5.

Коэффициент обогащения элементов EF_{A-G} в аэрозоле относительно почвы полотна железной дороги (опорный элемент алюминий)

Регион	EF 1-ПТК		EF 2-ПТК		EF 3-ПТК		EF 4-ПТК		EF 5-ПТК	
	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна
Mg	0.2	0.05	0.5	0.1	0.1	0.05	0.5	0.3	0.9	1.0
Al	1	1	1	1	1	1	1	1.00	1	1.0
Si	1	0.6	3	1	1	0.3	2	1	3	1
P	1	1	3	1	1	0.1	1	0.2	0.44	2
S	73	35	63	73	32	25	20	24	18	34
Cl	749	443	526	454	555	152	1760	732	393	280
K	16	4	22	8	8	2	5	2	5	2
Ca	3	1	6	4	3	1	3	1	6	3
Ti	2	3	3	4	2	2	2	1	2	1
Cr	2	2	4	6	3	2	7	3	11	18
Mn	1	1	3	1	1	1	3	1	2	2
Fe	2	1	2	1	1	1	3	2	1	3
Co	1	0.1	2	0.3	1	0.2	1	0.2	0.4	0.2
Ni	2	3	2	5	1	1	3	2	3	7
Cu	23	27	6	124	27	36	77	58	48	40
Zn	8	6	19	21	6	5	3	3	2	1
Br	0.3		0.7		0.3		0.1		0.2	0.1
Sr	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.04	0.1	0.1	0.1	0.1
Mo	0.03	0.01	0.04	0.04	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01
Pb	1	0.4	3	2	0.2	0.3	1	0.5	0.3	0.4
V		5	0.7		0.8					
Cd	0.2	0.2	0.3	0.5	0.01	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03
Ba	0.3	1	3	17	2	3	1	2	0.8	5
Sn	0.2	0.2	0.3	1.01	0.6	0.7	0.3	0.5	0.2	0.7
Cs	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.005	0.01
Hg	0.002	0.003	0.003	0.01	0.003	0.003	0.008	0.015	0.001	0.005
Sc					5	4	28			
Se		1		2	0.2					

Используя данные табл. 2, 4 и 5, мы выявили источники поступления 24 идентифицированных химических элементов в атмосферу, выделив литогенную составляющую элемента, вклад техногенной составляющей грунта железнодорожного полотна и возможно техногенные источники.

Для анализа использовались следующие основные сочетания коэффициентов обогащения EF .

1. Коэффициент обогащения аэрозолей элементом относительно кларков $EF_{A-K} \leq 10$, независимо оттого, какой коэффициент обогащения аэрозолей элементом относительно грунта – источник литогенный (Л).

2. Коэффициент обогащения аэрозолей элементом относительно кларков $EF_{A-K} > 10$, а относительно грунта $EF_{A-G} > 2$ – источник техногенный (Т).

3. Коэффициент обогащения аэрозолей элементом относительно кларков $EF_{A-K} > 10$, а относительно грунта $EF_{A-G} \leq 2$. В этом случае надо дополнительно учитывать коэффициент обогащения элементом грунта железнодорожного полотна $EF_{Г-К}$:

- коэффициент обогащения элементом грунта $EF_{Г-К} \leq 10$ – источник техногенный (Т);

- коэффициент обогащения элементом грунта $EF_{Г-К} > 10$ – источник техногенная составляющая грунта полотна железной дороги (Т/Г).

Результаты анализа источников поступления химических элементов в атмосферу по сезонам и ПТК представлены в табл. 6, 7.

В осенний и весенний периоды Mg, Si, Al, Ca, Ti, Sr поступают в атмосферу от литогенных источников (Л), включая и литогенную составляющую грунта полотна железной дороги, во всех ПТК. Коэффициенты обогащения аэрозолей этими элементами относительно кларков $EF_{A-K} < 10$. К этой же группе мы отнесли K, Ba, Cs, Mn, P и Fe, которые не менее чем в шести случаях поступают в атмосферу от литогенных источников, хотя K, Ba и P в одном случае, а Mn и Fe в двух случаях рассматриваются как техногенные. Кроме того, Cs в одном, а Fe и P в двух случаях рассматриваются как поступающие в атмосферу техногенной составляющей грунта. На наш взгляд незначительное увеличение коэффициентов обогащения атмосферных аэрозолей этими

элементами относительно кларков в 1-ПТК, 2-ПТК и 3-ПТК, скорее всего, связано с техногенным загрязнением грунта полотна железной дороги и промышленной спецификой районов.

Таблица 6.
Источники поступления химических элементов в атмосферу

EF_{A-K}					
< 10		> 10			
Л		$EF_{A-\Gamma}$			
		> 1	< 1		
			$EF_{\Gamma-K}$		
			< 10	> 10	
		Т		Т/Г	
Осень	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна
Mg	Mg				
Al	Al				
SI	SI				
Ca	Ca				
Sr	Sr				
Ti	Ti				
K	K	K			
Mn	Mn	Mn			
Ba	Ba		Ba		
Cs	Cs				Cs
Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe
P	P	P	P		
Co				Co	Co
		S	S		
		Cl	Cl		
		Ni	Ni	Ni	
		Cu	Cu		
		Zn	Zn		
		Pb		Pb	Pb
				Cd	Cd
		Cr	Cr		
				Mo	Mo
				Sn	Sn
				Hg	Hg

Таблица 7.

Источники поступления химических элементов в атмосферный аэрозоль по ПТК

Источники поступления										
Регион	1-ПТК		2-ПТК		3-ПТК		4-ПТК		5-ПТК	
	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна	Осень	Весна
Mg	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Al	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Si	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Ca	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Sr	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Ti	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
K	Т	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Ba	Л	Л	Л	Т	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Mn	Т	Л	Т	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
Cs	Л	Т/Г	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л	Л
P	Т/Г	Т/Г	Т	Л	Т/Г	Л	Л	Л	Л	Л
Fe	Т/Г	Т/Г	Т	Л	Т	Л	Л	Л	Л	Л
Co	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Л	Т/Г	Л	Т/Г	Л
S	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
Cl	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
Cu	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
Zn	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т/Г	Т/Г
Cr	Т/Г	Т/Г	Т	Т	Т	Т/Г	Т	Т	Т	Т
Ni	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т	Т
Pb	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г
Cd	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г
Mo	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г
Sn	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г
Hg	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г	Т/Г

Элементы Pb, Cd, Mo, Sn, Hg как в осенний, так и в весенний периоды во всех ПТК поступают в атмосферу от техногенной составляющей грунта полотна железной дороги (Т/Г). К этой же группе мы отнесли и Co, так как он только в трех случаях рассматривается как литогенный элемент.

Элементы S, Cl, Cr, Ni, Cu, Zn как в осенний, так и в весенний периоды во всех ПТК поступают в атмосферу от техногенных источников (Т). Коэффициент обогащения аэрозолей этими элементами относительно кларков $EF_{A-K} > 10$, относительно грунта $2 \geq EF_{A-G} > 2$, а коэффициент

обогащения грунта относительно кларков $10 \geq EF_{Г-к} > 10$ в зависимости от ПТК и времени года. При этом следует отметить, что элементы Cr, Ni, Zn, в зависимости от ПТК и времени года, иногда поступают в атмосферу и от техногенной составляющей грунта, которая маскирует вклад промышленных источников: Zn в двух, Cr в трех, а Ni в пяти случаях.

Наличие разных источников поступления химических элементов в атмосферу подтверждает корреляционный анализ совместных измерений элементного и дисперсного состава атмосферных аэрозолей.

В табл. 8, 9 приведены данные корреляционного анализа совместного изменения дисперсного и элементного составов проб аэрозолей и коэффициенты корреляции между массовым содержанием химических элементов в аэрозольных частицах вдоль трассы, поступающих в атмосферу от литогенных источников.

Таблица 8.

Корреляция между дисперсным и элементным составом аэрозолей, поступающих в атмосферу от литогенного источника

Элемент	Фракции размеров d мкм	Коэффициент корреляции $K_{кор}$	Фракции размеров d мкм	Коэффициент корреляции $K_{кор}$
	Весна		Осень	
Mg	0.25-0.7	0.81-0.9	1.0-2.0	0.67-0.73
Al	0.5-15.0	0.8-0.95	7.0-10.0	0.52
Si	0.15-0.2 и 0.4-0.7	0.35 и 0.3-0.4	5.0-15.0	0.62-0.68
Ca	3.0-15.0	0.3-0.35	7.0-15.0	0.36-0.38
Sr	0.7-15.0	0.88-1.0	отсутствует	отрицательный
Ti	0.15-0.5	0.8-0.85	5.0-10.0	0.61-0.66
K	0.15-0.25	0.42-0.47	0.15-0.2 и 0.3-0.5	0.82 и 0.82-0.85
Mn	отсутствует	менее 0.15	2.0-15.0	0.9-0.96
Ba	отсутствует	отрицательный	3.0-10.0	0.53-0.57
Cs	отсутствует	менее 0.25	1.5-10.0	0.33-0.48
Fe	0.4-0.7	0.84-0.9	1.5-5.0	0.83-0.9
P	отсутствует	отрицательный	0.15-0.2	0.75

Осенью хорошие корреляционные связи $K_{кор} > 0.80$ имеют элементы K с частицами $d = 0.3-0.5$ мкм и $d = 0.15-0.2$ мкм, Mn с частицами $d = 2.0-15.0$

мкм, Fe с частицами $d = 1.5-5.0$ мкм. Элементы Mg, Si, Al, Ca, Ti, Sr, которые поступают в атмосферу от литогенных источников во всех ПТК, осенью хороших корреляционных связей не имеют. Можно отметить слабую корреляцию $K_{кор} = 0.6-0.8$ элементов Mg, Si, и меньше $K_{кор}=0.3-0.7$ у элементов Al, Ca, Ti, Ba, Cs с крупными частицами $d = 1.0-15.0$ мкм. Фосфор имеет корреляционную связь $K_{кор} = 0.75$ с мелкодисперсной фракцией $d = 0.15 - 0.2$ мкм. Для Sr осенью какая-либо корреляционная связь с частицами исследованных диапазонов отсутствует.

Таблица 9.

Коэффициенты корреляции элементов, поступающих в атмосферу (Весна/Осень) от литогенного источника:

Элемент	Mg	Al	Si	Ca	Sr	Ti	K	Mn	Ba	Cs	Fe	P
Mg	1											
Al	0.8/0.5	1.0										
Si	0.0/0.0	0.2/0.9	1.0									
Ca	0.0/0.2	0.1/0.7	0.5/0.8	1.0								
Sr	0.3/0.6	0.8/0.9	0.0/0.8	0.3/0.8	1.0							
Ti	0.4/0.3	-0.0/1.0	0.5/0.9	0.0/0.7	-0.6/0.9	1.0						
K	0.2/0.5	-0.2/0.5	0.7/0.6	-0.1/0.5	-0.6/0.1	0.7/0.7	1.0					
Mn	-0.2/0.7	-0.2/0.1	0.9/0.4	0.7/0.0	-0.2/-0.1	0.5/0.3	0.6/0.7	1.0				
Ba	0.0/0.7	-0.6/0.0	-0.8/0.2	0.2/-0.4	0.4/0.3	-0.1/0.1	-0.5/-0.5	-0.4/0.7	1.0			
Cs	-0.5/-0.1	0.2/0.1	0.9/0.3	0.3/0.5	0.1/0.2	0.3/0.1	0.7/0.2	-0.3/0.4	-0.9/0.3	1.0		
Fe	0.8/0.8	0.7/0.2	0.5/0.0	0.5/0.03	0.3/0.5	0.5/0.1	0.0/0.5	0.4/0.9	0.2/0.7	0.2/0.5	1.0	
P	-0.6/0.85	-0.9/-0.4	0.9/0.1	0.1/0.1	-0.9/-0.4	0.5/0.3	-0.2/0.7	0.8/0.4	0.9/0.35	-0.3/-0.6	-0.3/0.4	1.0

Весной хорошие корреляционные связи $K_{кор} > 0.80$ с крупными частицами $d = 0.5-15.0$ мкм имеют элементы Al и Sr. Очень слабую корреляцию $K_{кор}=0.3-0.35$ с крупными частицами $d = 0.5-15.0$ мкм имеет Ca. Элементы Mg, Ti, Fe имеют хорошие корреляционные связи $K_{кор} > 0.80$ с мелкодисперсными фракциями $d = 0.15 - 0.7$ мкм. Очень слабую корреляцию $K_{кор}=0.15-0.25$ с мелкодисперсными фракциями

$d = 0.15 - 0.7$ мкм имеет калий. У элементов Mn, Ba, Cs и P какая-либо значимая корреляционная связь с частицами исследованных диапазонов весной отсутствует.

Таким образом, весной и осенью литогенные элементы имеют корреляционную связь с разными фракциями аэрозольных частиц. Осенью практически все литогенные элементы, за исключением K и P, имеют корреляционные связи с крупными частицами $d = 0.5-15.0$ мкм. K и P имеют корреляционные связи с мелкодисперсной фракцией $d = 0.15-0.5$ мкм. Весной корреляционные связи с крупными частицами $d = 0.5-15.0$ мкм имеют элементы Al, Sr и Ca. У остальных элементов или имеется корреляционная связь с мелкодисперсной фракцией $d = 0.15-0.7$ мкм (элементы Mg, Ti, Fe и K), или значимая корреляционная связь с частицами исследованных диапазонов отсутствует (элементы Mn, Ba, Cs и P).

Можно предположить, что Sr осенью должен коррелировать с крупными частицами $d = 5.0-15.0$ мкм, так как имеет хорошие корреляционные связи с элементами Si, Al, Ca, Ti. Кроме того, весной Cs должен иметь корреляционную связь с мелкодисперсной фракцией $d = 0.15-0.25$ мкм, так как имеет хорошие корреляционные связи с Si и K, а фосфор - корреляционную связь как минимум с двумя фракциями, так как имеет хорошие корреляционные связи с Mn и Ba. В то же время корреляционная связь между этими элементами отсутствует.

В табл. 10, 11 приведены данные корреляционного анализа совместного изменения дисперсного и элементного составов проб аэрозолей и коэффициенты корреляции между массовым содержанием химических элементов в аэрозольных частицах вдоль трассы, поступающих в атмосферу от техногенной составляющей грунта. Также как и литогенные элементы, поступающие в атмосферу элементы от техногенной составляющей грунта, весной и осенью имеют корреляционную связь с разными фракциями аэрозольных частиц.

Таблица 10.

Корреляция между дисперсным и элементным составом аэрозолей, поступающих в атмосферу от техногенной составляющей грунта

Элемент	Фракции размеров d_{cp} мкм	Коэффициент корреляции $K_{кор.}$	Фракции размеров d_{cp} мкм	Коэффициент корреляции $K_{кор.}$
	Весна	Весна	Осень	Осень
Pb	0.15-0.4	0.86-0.91	1.0-2.0	0.8-0.86
Co	0.15-0.7	0.8-0.97	0.5-3.0	0.8-0.97
Mo	0.2-0.25	0.84	0.3-1.5	0.32-0.36
Cd	0.2-0.25	0.5	1.0-2.0	0.82-0.85
Sn	0.15-0.4	0.82-0.94	0.2-0.5	0.58-0.62
Hg	0.5-0.7	0.8	10.0-15.0	0.59

Таблица 11.

Коэффициенты корреляции элементов, поступающих в атмосферу (Весна/Осень) от техногенной составляющей грунта

	Pb	Co	Mo	Cd	Sn	Hg
Pb	1.0					
Co	0.8/0.92	1.0				
Mo	0.9/0.16	0.69/0.36	1.0			
Cd	0.6/1.0	0.25/ 0.91	0.9/0.2	1.0		
Sn	0.8/0.0	0.85/0.13	0.9/0.7	0.6/0.0	1.0	
Hg	0.6/0.35	0.52/-0.15	0.2/ 0.7	0.1/-0.3	0.4/0.3	1.0

Осенью хорошие корреляционные связи $K_{кор.} > 0.80$ с крупными частицами $d = 1.0-2.0$ мкм имеют элементы Pb и Cd, а Co с частицами $d = 0.5-3.0$ мкм. Элементы Mo, Sn, Hg хороших корреляционных связей не имеют. Можно отметить слабую корреляцию $K_{кор.} = 0.58-0.62$ элемента Sn с мелкодисперсной фракцией $d = 0.2-0.5$ мкм, а элемента Hg с крупными частицами $d = 10.0 - 15.0$ мкм. Очень слабую корреляцию $K_{кор.} = 0.32-0.36$ имеет элемент Mo с фракцией $d = 0.3-1.5$ мкм

Весной все элементы имеют корреляционную связь только с мелкодисперсной фракцией $d = 0.15-0.7$ мкм. Элементы Pb, Mo, Sn, Hg и Co хорошую - $K_{кор.} > 0.80$. а элемент Cd слабую корреляцию - $K_{кор.} = 0.5$.

В тех случаях, когда элементы связаны с близкими фракциями размеров частиц, они имеют корреляционные связи до $K_{корр.} = 0.7 - 0.9$ между собой, что подтверждает наше предположение о наличии общего источника загрязнения.

В табл. 12 приведены данные корреляционного анализа совместного изменения дисперсного и элементного составов проб аэрозолей, а в табл. 13 - коэффициенты корреляции между массовым содержанием химических элементов в аэрозольных частицах вдоль трассы, поступающих в атмосферу от техногенных источников. Элементы имеют корреляционную связь с разными фракциями аэрозольных частиц.

Таблица 12.

Корреляция между дисперсным и элементным составом аэрозолей, поступающих в атмосферу (Весна/Осень) от техногенных источников

Элемент	Фракция размеров d_{cp} мкм	Коэффициент корреляции $K_{корр.}$	Фракция размеров d_{cp} мкм	Коэффициент корреляции $K_{корр.}$
	Весна		Осень	
S	0.15-0.3	0.81-0.91	0.15-1.5	0.92-0.99
Cl	0.2-0.25	0.74	1.0-1.5	0.32
Cr	0.2-0.25	0.6	0.5-2.0	0.82-0.88
Ni	0.2-0.25	0.57	0.7-1.5	0.71-0.72
Cu	0.2-0.225	0.49	0.25-0.5	0.33-0.36
Zn	0.2-0.225	0.72	0.15-0.2 и 1.0-1.5	0.86 и 0.81

Таблица 13.

Коэффициенты корреляции элементов, поступающих в атмосферу (Весна/Осень) от техногенных источников

Элементы	S	Cl	Cr	Ni	Cu	Zn
S	1.00					
Cl	0.9/0.3	1.00				
Cr	0.8/0.7	0.8/0.6	1.00			
Ni	0.9/0.7	0.9/0.9	0.9/0.9	1.00		
Cu	0.7/0.4	0.7/0.3	0.9/0.0	0.8/0.3	1.00	
Zn	0.9/0.6	0.9/0.0	1.0/0.8	0.9/0.4	0.9/-0.5	1.00

Осенью элементы S и Cr имеют коэффициент корреляции $K_{кор.} > 0.80$ с частицами $d = 0.15-2.0$ мкм, а Zn с двумя фракциями $d = 0.15-0.2$ и $d = 1.0 - 1.5$ мкм. Слабую корреляцию $K_{кор} = 0.71-0.72$ с фракцией $d=0.7-1.5$ мкм имеет Ni. Очень слабую корреляцию $K_{кор} = 0.32-0.36$ имеет Cl с фракцией $d = 1.0-1.5$ мкм и Cu с фракцией $d = 0.25-0.5$ мкм.

Весной все элементы имеют корреляционную связь только с мелкодисперсной фракцией $d = 0.15-0.3$ мкм. Элемент S хорошую - $K_{кор.} > 0.80$. а элементы Cl и Zn несколько меньше - $K_{кор} = 0.72-0.74$. Очень слабую корреляцию $K_{кор} = 0.49-0.6$ имеют элементы Cr, Ni и Cu.

В табл. 14 приведены данные корреляционного анализа совместного изменения дисперсного и элементного составов проб аэрозолей, а в табл. 15 - коэффициенты корреляции между массовым содержанием химических элементов в аэрозольных частицах вдоль трассы, поступающих в атмосферу от различных источников, содержание которых не определялось в грунте железнодорожного полотна. Большинство элементов весной имеют корреляционную связь с частицами $d = 0.15 - 0.7$ мкм, восемь с более крупными частицами $d = 0.5 - 15.0$ мкм. В осенний период большинство элементов связано с частицами $d = 0.15 - 2.0$ мкм, а два элемента с более крупными $d = 5.0-15$ мкм.

Таблица 14.

Корреляция между дисперсным и элементным составом аэрозолей,
содержание которых не определялось в грунте

Элемент	Фракция размеров d_{cp} мкм	Коэффициент корреляции $K_{кор.}$	Фракция размеров d_{cp} мкм	Коэффициент корреляции $K_{кор}$
	Весна	Весна	Осень	Осень
Rb	0.35-0.6	0.5-0.6	Отсутствует	отрицательный
Y	0.7-12.50	0.75-0.9	Отсутствует	отрицательный
Zr	0.175-0.85	0.8-0.95	Отсутствует	отрицательный
Nb	0.175-0.45	0.3-0.5	Отсутствует	отрицательный
Ag	отсутствует	отрицательный	0.225-1.25	0.5-0.6
Sb	0.225-0.35	0.3-0.5	0.225-1.75	0.7-0.9
W	0.85-12.5	0.4-0.65	Отсутствует	отрицательный
La	0.45-0.85	0.6-0.75	0.175-1.25	0.7-0.9
Ce	0.85-12.5	0.5-0.75	Отсутствует	отрицательный
Pr	0.85-12.5	0.6-0.8	6.0-12.5	0.4-0.5
Nd	0.85-12.5	0.4-0.5	6.0-12.5	0.4-0.5
Sm	0.45-0.6	0.4-0.5	0.175-0.85	0.6-0.8
Eu	Отсутствует	отрицательный	0.175-0.85	0.6-0.8
Gd	Отсутствует	отрицательный	0.175-1.75	0.65-0.8
Tb	0.6-12.5	0.5-0.75	Отсутствует	отрицательный
Dy	Отсутствует	отрицательный	0.175-1.75	0.6-0.75
Ho	Отсутствует	отрицательный	0.175-1.75	0.6-0.8
Er	0.15-0.4	0.75-0.85	0.175-1.75	0.7-0.85
Tm	0.6-12.5	0.5-0.7	0.175-1.25	0.6-0.8
Yb	Отсутствует	отрицательный	0.175-1.25	0.6-0.8
Lu	0.35-12.5	0.7-0.8	Отсутствует	отрицательный
Tl	0.35-0.85;1.5-7.0	0.7-0.9 ;0.6-0.75	0.01-0.05;1.0-2.0	0.7-0.80.7-0.8
Bi	0.225-0.275	0.65-0.7	Отсутствует	отрицательный
Th	8.5-12.5		Отсутствует	отрицательный
U	Отсутствует	отрицательный	Отсутствует	отрицательный
Li	0.175-0.6	0.85-0.9	Отсутствует	отрицательный
Be	0.85-12.5	0.5-0.7	Отсутствует	отрицательный
Na	0.175-0.2753	0.7-0.8	Отсутствует	отрицательный

Таблица 15.

Коэффициенты корреляции между элементным составом аэрозолей (Весна-Осень), содержание которых не определялось в грунте

	Y	Zr	Nb	Ag	Sb	W	La	Sm	Eu	Gd	Ho	Er	Tm	Tl	Bi	U	Be
	1.0																
r	0.3/ 0.2	1.0															
b	0.3/ 0.3	0.1/ 1.0	1.0														
g	-0.3/ 0.1	-0.3/ 0.0	-0.2/ 0.2	1.0													
b	-0.5/ -0.1	0.3/ -0.3	-0.2/ 0.0	0.8/ 0.5	1.0												
	0.1/ -0.5	-0.2/ 0.7	-0.2/ 0.6	-0.3/ 0.2	-0.6/ -0.1	1.0											
a	0.8/ 0.4	0.6/ -0.5	0.2/ -0.3	-0.8/ 0.8	-0.4/ 0.6	-0.2/ -0.5	1.0										
m	0.4/ 0.5	0.3/ -0.3	0.7/ -0.1	-0.8/ 0.8	-0.6/ 0.4	-0.2/ -0.5	0.8/ 1.0	1.0									
u	-0.1/ 0.4	-0.1/ -0.3	0.9/ -0.1	-0.5/ 0.9	-0.6/ 0.4	-0.1/ -0.3	0.3/ 1.0	0.8/ 1.0	1.0								
d	-0.3/ 0.5	-0.2/ -0.3	1.0/ -0.1	-0.2/ 0.8	-0.4/ 0.5	-0.2/ -0.4	0.1/ 1.0	0.7/ 1.0	1.0/ 1.0	1.0							
o	-0.4/ 0.6	-0.2/ -0.1	0.9/ 0.1	-0.1/ 0.7	-0.2/ 0.6	-0.3/ -0.4	0.0/ 0.9	0.6/ 0.9	0.9/ 0.9	1.0/ 0.9	1.0						
r	-0.1/ 0.5	0.6/ -0.3	0.8/ 0.0	-0.3/ 0.8	0.1/ 0.6	-0.4/ -0.4	0.5/ 1.0	0.7/ 1.0	0.7/ 0.9	0.6/ 1.0	0.6/ 1.0	1.0					
m	0.9/ 0.6	0.3/ -0.5	0.1/ -0.4	-0.9/ 0.8	-0.7/ 0.4	0.0/ -0.8	0.9/ 1.0	0.8/ 1.0	0.4/ 1.0	0.1/ 1.0	0.0/ 0.9	0.2/ 1.0	1.0				
l	0.7/ -0.6	0.8/ -0.7	0.0/ -0.7	-0.6/ -0.5	-0.1/ 0.7	-0.2/ -0.3	0.9/ -0.1	0.5/ -0.3	0.0/ -0.3	-0.2/ -0.2	-0.3/ -0.3	0.4/ -0.2	0.7/ -0.2	1.0			
i	-0.6/ -0.8	0.4/ 0.3	-0.1/ 0.2	0.8/ 0.2	0.9/ -0.1	-0.4/ 0.9	-0.4/ -0.3	-0.5/ -0.4	-0.4/ -0.1	-0.3/ -0.3	-0.1/ -0.5	0.2/ -0.4	-0.7/ -0.6	0.0/ 0.0	1.0		
	-0.3/ 0.6	-0.2/ 0.2	0.9/ 0.5	-0.3/ 0.8	-0.4/ 0.6	0.0/ -0.1	0.1/ 0.7	0.7/ 0.8	1.0/ 0.7	1.0/ 0.8	1.0/ 0.9	0.6/ 0.9	0.1/ 0.8	-0.3/ -0.5	-0.3/ -0.3	1.0	
e	0.5/ -0.5	-0.2/ 0.3	0.1/ 0.1	-0.8/ 0.1	-0.9/ -0.9	0.8/ 0.8	0.2/ -0.3	0.4/ -0.3	0.4/ -0.1	0.2/ -0.4	0.0/ -0.6	-0.2/ -0.5	0.5/ -0.4	0.1/ -0.4	-0.8/ 0.9	0.3/ -0.6	1.0
a	-0.7/ -0.5	0.4/ 0.3	0.7/ 0.3	-0.7/ -0.7	0.5/ 0.2	-0.3/ 0.8	-0.2/ 0.1	0.1/ 0.1	0.4/ 0.3	0.5/ 0.1	0.6/ 0.0	0.8/ 0.1	-0.4/ -0.3	-0.1/ -0.3	0.6/ 0.9	0.5/ 0.2	0.4/ 1.0

Заключение

1. Анализ грунта полотна железной дороги показал, что во всех ПТК в значительной степени аккумулируются следующие химические элементы Sr, Cs, Br, Zn, Pb, Cd, Se, Co, Hg, Mo и Sn. В осенний период грунт обогащает атмосферный аэрозоль как минимум пятью элементами: Hg, Co, Mo, Cd, и Sn во всех ПТК, Pb в 1-, 3-, 4- и 5-ПТК, P в 1-, 3-ПТК, Ni в 4- и 5-ПТК, а Cr и Fe в 1-ПТК. В весенний период грунт железнодорожного полотна обогащает атмосферные аэрозоли тоже пятью элементами: Pb, Cd, Hg, Sn и Mo во всех ПТК, Co и Ni в 1- и 2-ПТК, Cr в 1- и 3-ПТК, а Fe и P в 1-ПТК.

2. Как в осенний, так и в весенний периоды, наибольшее количество химических элементов, поступающих в атмосферу от техногенных источников и от техногенной составляющей грунта полотна железной дороги, наблюдалось в 1-ПТК и 2-ПТК (Урал). Это, очевидно, связано со спецификой данных районов, наличием в них промышленных предприятий и месторождений, являющихся дополнительными источниками поступления этих элементов в атмосферу.

3. Рассмотрены три источника поступления химических элементов в атмосферные аэрозоли на трассе Москва – Хабаровск: литогенные, грунт полотна железной дороги и техногенные. Исходя из анализа корреляционных связей совместного изменения дисперсного и элементного составов проб аэрозолей и коэффициентов корреляции между массовым содержанием химических элементов в аэрозольных частицах, можно сказать, что весной и осенью элементы литогенной группы, элементы, входящие в грунт полотна железной дороги, и техногенные элементы имеют корреляционную связь с разными фракциями аэрозольных частиц.

4. Осенью практически все литогенные элементы, за исключением K и P, имеют корреляционные связи с частицами $d = 0.5-15.0$ мкм.

Элементы литогенной группы Fe и Mn достаточно определенно входят в состав частиц с $d = 2.0-15.0$ мкм и с $d = 1.5-5.0$ мкм соответственно.

Элементы K и P имеют корреляционные связи с мелкодисперсной фракцией и входят в состав частиц с $d = 0.15-0.2$ мкм, а K еще и в состав частиц с $d = 0.3-0.5$ мкм. Значения коэффициентов корреляции остальных элементов литогенной группы с дисперсным составом не позволяет с уверенностью сделать вывод о фракционном составе частиц, их содержащих.

Весной в состав частиц с $d = 0.5-15.0$ мкм достаточно определенно входят Al и Sr, а в состав мелкодисперсной фракции с $d = 0.15 - 0.7$ мкм - Mg, Ti, Fe. У остальных элементов (Mn, Ba, Cs и P) значимая корреляционная связь с частицами исследованных диапазонов отсутствует, что не позволяет сделать вывод о фракционном составе частиц.

5. Осенью из элементов, поступающие в атмосферу от техногенной составляющей грунта полотна железной дороги, Pb и Cd входят в состав крупных частиц с $d = 1.0-2.0$. а Co - в состав частиц с $d = 0.5-3.0$ мкм. Значения коэффициентов корреляции остальных элементов этой группы (Mo, Sn, Hg) не позволяет с уверенностью сделать вывод о фракционном составе частиц, их содержащих. Можно отметить связь элемента Sn с мелкодисперсной фракцией $d=0.2-0.5$ мкм, а элемента Hg - с крупными частицами $d = 10.0 - 15.0$ мкм.

Весной Pb, Mo, Sn, Hg и Co достаточно определенно входят в состав мелкодисперсной фракцией $d=0.15-0.7$ мкм. Cd также тяготеет к мелкодисперсной фракции, однако значения коэффициентов корреляции не позволяет с уверенностью сделать вывод о фракционном составе частиц, в которые он входит.

6. Осенью из элементов, поступающие в атмосферу от техногенного источника S и Cr входят в состав частиц с $d=0.15-2.0$ мкм, Ni - в состав частиц с $d = 0.7-1.5$ мкм, а Zn входит в состав двух фракций частиц с

$d = 0.15-0.2$ и с $d = 1.0-1.5$ мкм. Значения коэффициентов корреляции остальных элементов этой группы с частицами исследованных диапазонов не позволяет с уверенностью сделать вывод о фракционном составе частиц, их содержащих.

Весной S, Cr, Cl и Zn входят в состав мелкодисперсной фракции $d=0.15-0.3$ мкм. Cr, Ni и Cu также тяготеет к мелкодисперсной фракции, однако значения коэффициентов корреляции с частицами исследованных диапазонов не позволяют с уверенностью сделать вывод о фракционном составе частиц, в который они входят.

Литература

1. Andronova A.V., Granberg I.G., Grisenko A.M., Gubanova D.P., Zudin B.V., Iordanskii M.A., Lebedev V.A., Nevskii I.A. and Obvintsev Yu.I. Studies of the Spatial and Temporal Distribution of Surface Aerosol along the Trans-Siberian Railroad. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2003. V.39. Suppl. 1. P. S27-S34.
2. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. Л.: ЛГУ, 1982. 382 с.
3. Кудряшов В.И. Анализ элементного состава атмосферных аэрозолей физическими методами. Межвузовский сб. Проблемы физики атмосферы. Вып. 20. Физика и химия атмосферных аэрозолей. С-Пб.: Из-во С-ПбГУ. 1997. С. 97-130.
4. Огородников Б.И., Будыка А.К., Скитович В.И., Бродовой И.В. Характеристики аэрозолей пограничного слоя атмосферы над Москвой. *Изв. АН. Физика атмосферы и океана.* 1996. Т. 36. № 2. С.163-171.
5. Ивлев Л.С., Жуков В.М., Кудряшов В.И., Погорский С.Н. Исследование микроструктуры и химического состава стационарных

- аэрозолей. Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1989. Т. 25. № 3. С. 128-136.
6. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Под ред. проф. Л.К. Исаева. С-Пб. 1998.
 7. Ивлев Л.С., Кудряшов В.И., Э.М. Ариас Вильянуэва. Вариации концентрации и химического состава аэрозолей приземного слоя атмосферы в западных штатах Мексики // Труды 3-ей Межд. конф. Естественные и антропогенные аэрозоли. С-Пб.: Из-во С-ПбГУ. 2001. С. 54-67.
 8. Донченко В.К., Ивлев Л.С. Об идентификации аэрозолей разного происхождения // Там же. С.41-52.
 9. Перельман П.И. Геохимия. М.: Высшая школа. 1979.
 10. Виноградова А.А., Малков И.П., Полиссар А.В., Храмов Н.Н. Элементный состав приземного атмосферного аэрозоля арктических районов России. Изв. АН. Физика атмосферы и океана. 1993. Т. 29. № 2. С. 164-172.
 11. Толмачев Г.Н. Горизонтальное распределение ионно-элементного состава атмосферного аэрозоля над территорией СССР // Труды 2-ой Межд. конф. Естественные и антропогенные аэрозоли. С-Пб.: Из-во С-ПбГУ. 1999. С. 142-151.

50 ЛЕТ ПОИСКОВ И СВЕРШЕНИЙ. РАЗВИТИЕ РАБОТ В ЛАБОРАТОРИИ АЭРОЗОЛЕЙ АКАДЕМИКА И.В. ПЕТРЯНОВА. ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XX ВЕКА

Садовский Б.Ф.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

Охватить весь спектр работ, проводившихся в лаборатории аэрозолей за столь длительный период, крайне трудно. Это потребует специального исследования. Далее лишь в кратком изложении перечислены основные работы, в которых мне приходилось участвовать и которые в большинстве своем нашли практическое приложение. В работе принимали участие, кроме автора, на различных этапах Г.С. Соловьев, Г.И. Баберкина, В.И. Кузьмичева, Л.В. Шмелев, Г.А. Черняева, В.В. Домбровская, А.П. Базаров, В.В. Гаврилов, Ю.В. Жуланов, О.А. Никитин, И.А. Невский, С.А. Исупова и др. Были совместные работы с В.И. Козловым, Б.И. Огородниковым, Н.Б. Борисовым, В.Н. Кириченко, В.И. Скитовичем, М.М. Андарало, Э.А. Дружининым, А.Д. Шепелёвым, А.А. Ревиним, Г.Б. Казарцевым и др.

Кроме того, следует обозначить задачи, которые ставились перед лабораторией, и роль научного руководителя и заведующего в решении поисковых и прикладных проблем.

По мере накопления опыта и знаний моя работа в лаборатории становилась более результативной. На отдельных этапах приходилось вести несколько тем, руководить организацией ОКР, проводить и участвовать в промышленных испытаниях и защищать лабораторные разработки. Все эти дела обсуждались, направлялись и поддерживались И.В. Петряновым. С ним было легко и просто работать. Но это не означает, что он не был требовательным, наоборот, порой достаточно жестким, но всегда доступным. Он умел слушать, ценил дельную инициативу, не

мешал мелочной опекой и, если была стоящая идея, всемерно развивал и поддерживал. Он помогал молодым сотрудникам определиться в направлении исследований, находил время для бесед и не только в научном плане. Интересовался жизнью сотрудников, их бытом, занятиями вне стен института. С ним можно было беседовать практически на любые темы [1].

В лабораторию аэрозолей я попал после окончания МХТИ им. Д.И. Менделеева в 1949 г. Директор НИФХИ им. Л.Я. Карпова Я.М. Колотыркин направил меня к молодому профессору Игорю Васильевичу Петрянову. Его фамилия была Петрянов-Соколов, но для простоты и удобства мы ограничивались первой фамилией, а он никогда не возражал. В то время в лаборатории было около 10 человек. Практически все работы были секретные. Поэтому И.В. Петрянов на период оформления по линии режимного отдела направил меня в стеклодувную мастерскую, чтобы научиться работать со стеклом. Уметь паять и обращаться со стеклом было просто необходимо.

Тогда в лаборатории было три направления исследований: аэрозольная тематика, создание и исследование тонковолокнистых полимерных нетканых материалов для улавливания и анализа аэродисперсных систем и разделение изотопов. Мне было поручено создание плотных пористых перегородок на основе ультратонких волокон с перспективой использования их в процессах электролиза, фильтрации жидкостей и разделения изотопов. Эти направления в лаборатории вел М.В. Тихомиров. Но он ушел во вновь созданную лабораторию Н.Н. Туницкого, отпочковавшуюся от лаборатории аэрозолей.

Плотные жесткие пористые листы из перхлорвиниловых волокон нашли применение в электролитических ваннах. Химическая стойкость перхлорвинила была достаточной для работы в агрессивных средах, где температура не превышала 50 – 70 °С.

На заводе в г. Электросталь, выпускавшего материал ФП, называвшийся тогда «БФ» (боевой фильтр), накопились его значительные запасы. Руководство завода решило неликвиды уничтожить, поскольку массового применения материал, кроме снаряжения противогазов, не имел. И.В. Петрянов воспротивился этому. Он предложил выпустить из БФ диафрагм для электролиза в радиохимическом производстве. В достаточно сжатые сроки из материала ФП путем прессования десяти слоев были изготовлены плотные жесткие пластины. Испытание их в условиях работы электролизных ванн показали пригодность и соответствие ТЗ. Технология была передана заводу в г. Электросталь, где такие перегородки методом вальцования изготавливались в требуемых количествах и немедленно самолетами отправлялись в Сибирь.

Попытка использовать такие же и аналогичные пористые материалы, но с параметрами пригодными для разделения изотопов, не удалась. Переданные М.Д. Миллионщикову образцы (для И.К. Кикоина, отвечавшего в советском Атомном проекте за концентрирование урана-235), получили высокую оценку по параметрам, определяющим разделительную способность изотопов урана. Они превосходили даже промышленные металлические перегородки диффузионных установок. Однако перхлорвинил, один из наиболее химически стойких в то время полимерных материалов, из которого получали ультратонкие волокна диаметром 1 - 2 микрона, в среде гексафторида урана был недостаточно стойким. Попытки обработать перегородки хлором, фтором и другими реагентами, не привели к резкому увеличению их химической стойкости. На основе этих работ я защитил кандидатскую диссертацию в 1959 г.

Одновременно в лаборатории в начале 1950-х годов велись исследования по улавливанию радиоактивного йода волокнистыми фильтрами. Сложность заключалась в том, что благодаря высокой летучести значительная часть йода находилась в парообразном состоянии.

Кроме того, по условиям заказчика улавливание йода необходимо было проводить при температурах до 200 °С. Полимерные волокнистые материалы ФП использовать не представлялось возможным. Тогда еще не было термостойких полимеров, из которых методом электрокапиллярного прядения можно было бы получать нетканые фильтрующие материалы ФП. И работа проводилась на ультратонких стеклянных волокнистых материалах, пропитанных раствором азотнокислого серебра. Эта работа выполнялась на базе Курчатовского института. Опыты дали положительные результаты, но до практического внедрения дело не дошло. На той стадии работ руководством Минсредмаша было принято решение использовать сорбционные колонны, разработанные ВНИИНМ.

В 1970-х годах мы вернулись к этой теме. Были разработаны аналитические фильтры для улавливания рутения и йода на основе термостойких полимеров, которые обладали высокой сорбционной способностью к парам и высоким коэффициентом улавливания высокодисперсных аэрозолей. Эту работу мы проводили с Л.В. Шмелевым и Г.И. Баберкиной.

Специальными исследованиями по улавливанию йода и полония занимался Н.Б. Борисов со своей группой, который создал целое направление и сорбционно-фильтрующие композиции на основе материалов ФП для совместного улавливания паровой и аэрозольной фракций аэродисперсных систем [2].

Дальнейшие научные поиски, в которых я принимал участие, были в области получения ультратонких и предельнотонких волокон. Снижая диаметр волокна, можно было получить более тонкопористую структуру. Для фильтрации аэрозолей это имело большое значение, так как, чем тоньше волокно, тем выше коэффициент захвата частиц. Кроме того, с уменьшением диаметра волокон увеличивалась поверхность в единице

объема, что бытло важным фактором в ряде физико-химических процессов [3 - 5].

Для исследования альфа-активных аэрозолей, отобранных на аналитические фильтры ФП, требовалось создать поверхность, обеспечивающую достаточно плотный контакт с радиографической пластинкой для получения альфа-треков. Для решения этой задачи необходимо было получить фильтрующий материал или его поверхностный слой из предельнотонких волокон, чтобы аэрозольные частицы оседали на лобовой его поверхности. Эта работа завершилась созданием радиографических фильтров. Была разработана технология и документация для получения полимерных волокон размером 0.1 - 0.3 микрона.

В это же время шло активное внедрение фильтров для тонкой очистки технологических газов в атомной промышленности. Известно, что в любых технологически операциях и процессах выделяются аэрозоли – твердые и жидкие частицы микронных размеров. А если это радиоактивные вещества, то велика опасность их проникновения в организм человека и загрязнения природы. Достаточно сказать, что ПДК аэрозолей, содержащих радионуклиды на много порядков величины меньше химических токсичных веществ.

Первые промышленные фильтры с материалом ФП были рукавного типа. В емкость из нержавеющей стали устанавливали перфорированные цилиндры с намотанным на них материалом ФП. Но уже в начале 1950-х годов на лабораторном коллоквиуме Г.Л. Натансон предложил рамочную конструкцию фильтра. Позднее такие фильтры именовались ЛАИК (Лаборатория Аэрозолей Института Карпова). В этой конструкции в единице объема можно было развернуть значительно большую поверхность фильтрации и для многих производств заменить нержавсталь на дерево. Будучи на комбинате “Маяк”, я предложил сделать такую

замену, тем более, что завод “Двигатель” в Таллине стал выпускать новые фильтры. На комбинате воспользовались советом (Л.И. Басков), но “забыли” о лаборатории аэрозолей НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Расширение производства радионуклидов заставило вводить новые мощности по изготовлению материалов ФП. В начале 1960-х годов мы несколько месяцев занимались наладкой и пуском нового цеха, построенного в Эстонии в г. Силламяэ в системе Минсредмаша. Это было современное производство с 12 конвейерами мощностью 1.2 млн кв. м. К 1970 г. цех, благодаря работам лаборатории аэрозолей, выпускал на тех же установках до 8 млн кв. м материала ФП [5]. Пусковые работы возглавлял В.И. Козлов. В нашу бригаду вошли М.М. Андарало, Э.А. Дружинин и Б.Ф. Садовский. Первое полотно материала ФП сошло с конвейера 10 октября 1964 г., на котором расписались И.В. Петрянов, главный инженер Главка, работники цеха и руководство завода, проектировщики и наша бригада.

В 1960-х годах началось внедрение материала ФП в электротехническую промышленность. Оказалось, что нетканые материалы ФП после соответствующей обработки являются непревзойденными сепараторами для химических источников тока (ХИТ). Так, щелочные кадмий – никелевые аккумуляторы с сепараторами из материалов ФП обеспечивали сохранность заряда 10 лет и более. Другие виды ХИТ выдерживали более 1000 циклов перезарядки. Я работал над созданием и совершенствованием сепараторов, разработкой новых образцов [6]. Активное участие в этих работах принимали сотрудники Саратовского НИИХИТ, в частности М.Г. Абахаев и в дальнейшем В.Б. Тимофеев, который на основе этих исследований защитил кандидатскую диссертацию. Потом были созданы более термостойкие сепараторы из полисульфона. На основе этой работы защитил кандидатскую диссертацию В.Г. Мамагулашвили. По просьбе Подольского завода свинцовых аккумуляторов были созданы сепараторы для стартерных свинцово-

кислотных аккумуляторов типа Севол-СП [7, 8], которые обеспечивали безотказную работу при температурах до минус 50 °С. Промышленное освоение материала для сепараторов осуществлялось на заводе в г. Силламяэ.

В 1966 г. коллективу из 11 человек во главе с академиком И.В. Петряновы была присуждена Ленинская премия за теорию и технологию получения новых фильтрующих материалов и их внедрение в атомную промышленность. Лаборатория аэрозолей была представлена в этом коллективе шестью сотрудниками. Четверо из них - выпускники Менделеевского института: В.И. Козлов, Б.И. Огородников, Н.Б. Борисов, Б.Ф. Садовский.

Особенностью академика И.В. Петрянова было научное предвидение. Для решения некоторых проблем, которыми иногда занимались целые лаборатории или институты, он создавал маленькие коллективы и ставил перед ними задачи. Как ни странно, такие коллективы часто справлялись с заданием. По-видимому, благодаря своим знаниям, колоссальной эрудиции, широте мышления И.В. Петрянов мог предвидеть пути решения научных задач. Как-то на лабораторном коллоквиуме И.В. Петрянов при обсуждении одной из проблем высказал мнение, что кривая, характеризующая процесс, должна иметь такой-то вид. Его заместитель доктор химических наук Г.Л. Натансон возразил, сказав, что теоретически кривая должна пройти иначе. Эксперимент в дальнейшем подтвердил мнение И.В. Петрянова.

Когда И.В. Петрянов поручил мне заниматься самоочищающимися фильтрами, т.е. волокнистыми фильтрами для улавливания туманов, работающими с постоянными рабочими характеристиками с отдачей уловленной жидкости, было много сомнений. Требовалось исследовать механизм работы фильтра, получить различные зависимости и характеристики для создания производственных фильтров атомной

промышленности. Когда я спросил И.В. Петрянова, как это сделать, он ответил словами академика В.А. Каргина – как делать ни Вы, ни я не знаем, но что не надо делать, я знаю. Эта простая истина, по-видимому, не лишена мудрости, так как позволяет сэкономить массу времени.

Во второй половине 1940-х годов И.В. Петрянов, включившись в решения Атомного проекта, пытался использовать материалы ФП для защиты от радиоактивных аэрозолей. В этой работе кроме самого И.В. Петрянова принимали участие Н.Д. Розенблюм, П.И. Басманов и еще несколько сотрудников. Базовые установки были в ВНИИНМ, где велись работы с радионуклидами. Тогда было установлено, что материалы ФП могут обеспечить требуемую защиту от радионуклидов. Кроме того, было выяснено, что при улавливании туманов после “отравления” фильтра (“забивка” дисперсной фазой) последующий “отдых” приводит к практическому восстановлению фильтрующих характеристик. Это навело И.В. Петрянова на идею создать волокнистые промышленные фильтры, которые будут работать по улавливанию туманов с отдачей дисперсной фазы. Такие фильтры он предложил называть самоочищающимися.

Работа по исследованию механизма фильтрации туманов вылилась в создание нового направления в решении задач очистки воздуха и газов. Был установлен механизм улавливания, перемещения и вытекания жидкости из фильтрующего слоя, созданы промышленные образцы фильтров предварительной и тонкой очистки, успешно внедренные в промышленность. К созданию самоочищающихся фильтров были подключены несколько организаций: комбинат “Маяк”, Ленгипрострой, НИИОГАЗ, ВНИИНМ и др. На комбинате “Маяк” и других предприятиях были установлены и успешно работали самоочищающиеся фильтры по очистке газов от туманов, содержащих радионуклиды стронция, цезия, плутония, полония, солевых туманов и других веществ. И.В. Петрянов в этой работе сыграл огромную роль. Он разъяснял и обосновывал

технологическую, экономическую и экологическую целесообразность применения самоочищающихся фильтров. По материалам исследования работы самоочищающихся фильтров я написал и защитил докторскую диссертацию в 1973 г. [9].

В это же время мы начали работать над созданием лазерного счетчика аэрозолей. В принципе счетчики существовали, но для частиц микронных размеров. А максимум в распределение аэрозольных частиц в атмосфере приходится на 0.3 микрона. Это наиболее устойчивые в атмосфере частицы, так как их вес недостаточный для быстрого осаждения, а диффузия их замедлена, так как размер не очень маленький. Поэтому воздушными потоками они перемещаются на огромные расстояния, и время жизни их в атмосфере может быть огромным.

Для создания светового отклика таких частиц в кювете счетчика мощность лампы должна быть большой, а это будет нарушать траекторию движения частиц, влиять на их испаряемость и т.д. Созданием счетчика мы занимались вместе с Ю.В. Жулановым, О.А. Никитиным, И.А. Невским. Для увеличения освещенности было решено поместить рабочий объем кюветы в резонатор лазера. Ю.В. Жуланов очень много сделал для технического решения этого вопроса, что привело к созданию счетчика. Использование принятого принципа позволило создать прибор, которым можно было измерять частицы размером до 0.1 микрона. Проверку работоспособности счетчика мы осуществляли на корабле погоды Гидрометеослужбы “Эрнст Кренкель” во время трехмесячного плавания в Атлантическом океане в 1977 г. [10, 11].

Потом я много раз летал на Новую Землю на подземные испытания ядерного оружия. В нашу задачу входило обследование радиоактивного облака, которое образуется при просачивании через трещины породы радиоактивных газов. А счетчик частиц давал фоновую концентрацию аэрозолей в воздухе [12] и изменение этой концентрации после взрыва.

Работа была интересной, трудной и очень ответственной. И.В. Петрянов придавал этой работе на Новоземельском полигоне важное значение, сам летал на испытания. Нашу бригаду возглавлял Б.И. Огородников. В нее входили также В.И. Скитович, В.Н. Полезов, А.Г. Шарапов, Г.Б. Казарцев. Иногда присоединялись другие сотрудники лаборатории. Природа Новой Земли уникальна. Север богат красками и контрастами. Тот, кто побывает на заполярном архипелаге, оставит память в своем сердце.

Круг вопросов, которые приходилось решать в лаборатории аэрозолей, был очень широк. Так, мы участвовали в разработке и внедрении зональной планировки, придуманной И.В. Петряновым. Идея заключалась в том, что воздух из чистых помещений попадал в “грязные” (операторскую, затем в технологический процесс, далее в ремонтную зону и потом на выброс). Проходя из зоны в зону, он дополнительно очищался.

Оригинальное решение имела стерегущая защита. В каждом помещении или каньоне, где шел технологический процесс, имелась система вентиляции, на сбросе которой устанавливались фильтры тонкой очистки с датчиками, регистрирующими радионуклиды. Если на каком-то фильтре загоралась красная лампочка, значить в помещение из технологической линии проникли радионуклиды. Это могли быть трещины в трубопроводах, аппаратах, течи по прокладкам и т.д. Аварии еще нет, но уже известно, что нужна ревизия. Так было предотвращено много аварий, а это при работе с радионуклидами очень актуально [13]. На комбинате ”Маяк” мы с В.Н. Кириченко, обследуя такую систему, слышали много хороших отзывов.

Были разработаны и успешно применялись фильтры для очистки авиационного топлива и его анализа на содержание влаги [14]. Разработаны и внедрены рециркуляционные фильтры [15]. Они предназначались для ликвидации аварии на подводных лодках при разрыве контура теплоносителя, при выбросе его в отсеки в виде тумана.

Для работы самоочищающихся фильтров в условиях невесомости, где нет самопроизвольного стока уловленной жидкой фазы, была разработана конструкция с использованием действия капиллярных сил. Жидкость отводилась в пористые приемники, все время оставляя систему волокон в рабочем состоянии.

Используя для фильтрации жидкостей материал типа ФПП-Д и другие, проводили работы по очистке солевых растворов, фоторезисторов, защитного лака для световолоконной техники, активных сред в лазерах. Материалы нашли применение в производстве особо чистых веществ, осветлении пищевых продуктов, фильтрации фотоэмульсий, концентрировании и индикации бактериальных культур, для выделения суспензий в аналитических целях, фильтрации кислот, щелочей, жидких воздуха и кислорода, ртути, моторных масел, топлива и других жидкостей [16, 17].

Значительная часть сил и времени затрачены на исследование процесса остекловывания высокоактивных радионуклидов и разработку методов отбора проб аэрозолей и методов снижения выбросов аэродисперсных продуктов. Различными организациями были предложены методы остекловывания концентрированных солевых растворов, содержащих высокоактивные отходы радиохимических производств. Рассматривалось четыре варианта: получение стекла в электропечи, конверторным методом, плавки в печах с индукционным нагревом и тигельный метод. До промышленных испытаний дошло два первых метода. Электроплавка стекла обеспечивала спокойное ведение процесса, но по производительности она значительно уступала конвертору. Однако конвертор давал большое количество аэрозолей, так как сплавление шихты велось открытым пламенем при сжигании газа с поддувом воздуха или кислорода. Предложенная система снижения выбросов обеспечила хорошие результаты [18]. Метод электрорварки разрабатывался комбинатом

“Маяк”, а конверторный метод - Институтом газа АН Украины по идеям и под руководством Л.С. Пиоро. И.В. Петрянов считал, что конверторный метод имеет много преимуществ перед электрорваркой стекла. Минсредмаш одобрил для внедрения в производство своего метода электроплавки стекла. В начале 1990-х годов мы с Н.Б. Борисовым исследовали вынос летучих фракций радионуклидов, в частности цезия, при заполнении бочек жидким стеклом на комбинате “Маяк” [19].

Когда случилась авария на Чернобыльской АЭС, И.В. Петрянов собрал ведущих специалистов лаборатории для решения задач, связанных с ликвидацией последствий аварии. Через несколько дней несколько сотрудников были командированы в Чернобыль. Эта работа продолжается по настоящее время. Сейчас Б.И. Огородников половину года проводит исследования, участвуя в мониторинге радиоактивных аэрозолей, защитных свойствах саркофага и др.

Огромная энергия И.В. Петрянова была направлена на защиту людей от вредных примесей в воздушной и газовой средах. Его государственное мышление, эрудиция, научное предвидение помогали решать сложные технические задачи и обеспечивать достойный уровень разработок на благо нашей страны.

Литература

1. Петрянов-Соколов И.В. О себе и своем деле. О нем и его делах. Сост. Б.И. Огородников. Серия «Творцы ядерного века». М., ИздАТ, 1999. 512 с.
2. Борисов Н.Б. Международный аэрозольный симпозиум “Аэрозольная наука и технология”, 1994, доп. т., с. 30-40.
3. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М.: Знание, 1968, 78 с.
4. Филатов Ю.Н. Электро-формование волокнистых материалов (“ЭФВ-процесс”). М.: Нефть и газ, 1997, 297 с.

5. Дружинин Э.А. Производство и свойства фильтрующих материалов Петрянова из ультратонких полимерных волокон. М.: ИздАТ, 2007, 279 с.
6. Петрянов И.В., Розенблюм Н.Д., Садовский Б.Ф. Авт. свид. СССР, № 166393. Бюлл. изобр. и товарн. знаков. 1964, № 22.
7. Колесникова Л.П., Дружинин Э.А., Садовский Б.Ф., Емельянов Н.М., Петрянов И.В. Электротехника, № 2. 1976, с. 54-56.
8. Крепак О.В., Садовский Б.Ф., Герасимов А.Г., Барковский В.И. Электротехническое производство, 1990. вып. 11 (35), с. 19-21. Крепак О.В., Садовский Б.Ф., Герасимов А.Г. / Там же, вып. 5 (29), с. 5-6, вып. 6 (30), с. 14-16.
9. Садовский Б.Ф. Исследования в области фильтрации туманов волокнистыми фильтрами (Самоочищающиеся фильтры). Дисс. докт. хим. наук. М.: НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 1973. 382 с.
10. Жуланов Ю.Н., Садовский Б.Ф., Невский И.А., Петрянов И.В. Колл. журн., 1977, т. 39, вып. 6, с. 1064-1069.
11. Жуланов Ю.Н., Садовский Б.Ф., Никитин О.Н., Петрянов И.В. ДАН СССР, т. 242. № 4, с. 800-803.
12. Садовский Б.Ф., Шарапов А.Г., Огородников Б.И. Российско-Норвежское рабочее совещание-95. Научный семинар “Природные условия Карского и Баренцева морей. Тезисы. С-Петербург, 1995.
13. Петрянов И.В., Садовский Б.Ф., Басманов П.И., Борисов Н.Б. Аэрозольная безопасность при выполнении советского Атомного проекта. Междунар. симпозиум “Наука и общество. История советского Атомного проекта в 40-е и 50-е годы”. Дубна, 1996, Тезисы докл., с. 92.
14. Титов И.В., Садовский Б.Ф. и др. Фильтрующий элемент для топливного фильтра-сепаратора. Авт. свид. СССР. Бюлл. изобр., 1975. № 25.
15. Садовский Б.Ф. Пром. и санитарная очистка газов, № 6, 1976, с. 8.

16. Садовский Б.Ф., Баберкина Г.И., Дружинин Э.А. и др., Химическая Промышленность. 1970. № 5. с. 61.
17. Садовский Б.Ф., Шепелёв А.Д. Применение материалов ФП для фильтрации жидкостей / Шестые Петряновские чтения. Тезисы докл., М. 2007, с. 72 – 73.
18. Пиоро Л.С., Садовский Б.Ф. Атомная энергия, 1996, т. 81. вып. 6, с. 422-426.

ПАМЯТИ ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА КОЗЛОВА. К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

Садовский Б.Ф.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я.Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

В марте 2007 г. исполнилось 75 лет со дня рождения Владимира Ивановича Козлова. Это был высококлассный физико-химик, талантливый, широко эрудированный научный сотрудник, любимый ученик И.В. Петрянова..

После окончания физико-химического факультета МХТИ им. Д.И. Менделеева Владимир Козлов был направлен в НИФХИ им. Л.Я. Карпова, где выполнял дипломную работу по исследованию и улавливанию паровой фазы полония. Таким образом, его трудовая деятельность в лаборатории аэрозолей началась в 1955 г. Дальнейшие работы были направлены на изучение свойств и создание методов улавливания радиоактивных аэрозолей. Это было связано с поездками на предприятия МСМ и урановые рудники. Им был предложен принцип работы радиационно-электрического фильтра (РЭФ), созданного вместе с М.М. Андарало. По этой тематике В.И. Козлов защитил кандидатскую диссертацию. Фильтр был испытан на комбинате “Маяк” в Челябинске. Там же был испытан новый вид защиты типа газгольдер, где радиоактивные газы выдерживались для распада короткоживущих изотопов перед выбросом в атмосферу.

Далее В.И. Козлову были поручены исследования в области электрокапиллярного прядения. Он возглавил группу, которая разрабатывала новые фильтрующие материалы, курировала производство материалов ФП на заводах. Теоретические работы В.И. Козлова по теории прядения и опыт изучения свойств нетканых материалов ФП позволили

расширить ассортимент и области применения материалов ФП. Процесс прядения полимерных ультратонких волокон он исследовал совместно с А.Д. Михайловой. Работа по созданию аналитических фильтров и средств анализа аэрозолей на основе материалов ФП велась совместно с Н.Б. Борисовым, П.И. Басмановым и Б.И. Огородниковым. С Э.А. Дружининым были разработаны аналитические ленты типа НЭЛ и ЛФС и материалы на основе смесок волокон различного диаметра. Изучение фильтрующих свойств материалов ФП и углубление теории фильтрации проводилось совместно с Е.Н. Ушаковой. Когда требовался новый взгляд, активные действия, нетрадиционные решения, И.В. Петрянов подключал В.И. Козлова к различным направлениям деятельности лаборатории.

Очень большой этап в работах лаборатории В.И. Козлов посвятил участию в проектировании и пуско-наладочных работах при создании цеха по производству материалов ФП в г. Силламяэ в системе МСМ.

Он участвовал во многих разработках, проводимых другими сотрудниками лаборатории. Его советы и помощь были всегда своевременными и действенными. С ним всегда было интересно и результативно работать. К сожалению, жизнь Владимира Ивановича рано оборвалась, в возрасте 45 лет, на творческом взлете в науке...

20 - 21 июня 2007 г.

Чтения проходили в НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Секция 1

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПОЛУЧЕНИЯ
МИКРО- И НАНОВОЛОКНИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ ФП МЕТОДОМ
ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ
(ЭЛЕКТРОСПИНИНГА)**

НОВЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ФП ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Филатов Ю.Н., Будыка А.К. Филатов И.Ю., Мамагулашвили В.Г.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

Ключевые слова: фильтрующий материал, респираторы, процесс электроформования, микроволокна.

В соответствии с международным договором европейских стран в разделе обеспечения экологической безопасности даны рекомендации по сокращению промышленных технологий, связанных с выбросом в атмосферу фреонов, хлорсодержащих продуктов и др. веществ, способствующих образованию озоновых дыр.

В 50-х годах XX века в НИФХИ им. Л.Я. Карпова была разработана промышленная технология получения фильтрующих материалов ФПП на основе перхлорвинилового смолы и дихлорэтана, которая была внедрена на всех отечественных предприятиях и используется до настоящего времени [1].

Проведенные исследования показали, что фильтрующий материал содержит до 5 % дихлорэтана. Поэтому для использования в средствах индивидуальной защиты органов дыхания необходимо дополнительные процессы вакуумирования материала или его вылеживания при определенных условиях в течение одного месяца. В настоящее время фильтрующий материал используется в производстве респираторов без дополнительных стадий удаления растворителя. В связи с этим получаемые респираторы содержат значительное количество токсичного дихлорэтана (табл. 1) [2].

Кроме этого, действующее оборудование улавливания дихлорэтана в производстве фильтрующего материала не позволяют полностью очищать паровоздушные выбросы. По экспертным оценкам на отечественных заводах, оборудованных системой рекуперации, удается улавливать не более 30 % дихлорэтана. Таким образом, производство материалов ФП является экологически вредным. В связи с этим разработка новой технологии получения фильтрующего материала ФП без применения токсичного дихлорэтана является актуальной задачей.

Таблица 1.

Марка материала, производитель	Примеси	Содержание при 20 °С, мг/м ³	Содержание при 50 °С, мг/м ³
ФПП (вылеженный) (ОАО «Заря»)	1.2дихлорэтан	15 ± 3	120 ± 20
ФПП/С (АО «Эсфил»)	1.2дихлорэтан	110 ± 20	950 ± 50
ФПМ (АО «Эсфил»)	н-бутилацетат	40 ± 10	200 ± 30
ФППС («НИФХИ»)	этилацетат	< 0.2	1.5 ± 0.3

Примечание: Материалы ФП изготовлены из следующих смол: ФПП – перхлорвиниловая смола; ФПП/С – смесь волокон из перхлорвиниловой смолы и сополимера стирола и акрилонитрила; ФПМ – сополимер стирола и акрилонитрила; ФППС – смесь волокон из перхлорвиниловой смолы с добавкой бутадиен-нитрильного каучука и сополимера стирола и акрилонитрила

Кроме того, актуальной задачей является повышение эффективности фильтрующих материалов за счет использования полимеров с большими значениями удельной диэлектрической проницаемости для увеличения поверхностного заряда волокон. Это позволяет значительно снизить гидродинамическое сопротивление материалов при сохранении эффективности и, соответственно, снизить сопротивление дыханию получаемых из них респираторов.

Проведенные исследования процесса электроформования из разных промышленных полимеров показали, что наиболее стабильные результаты по увеличению электростатического заряда получаются из полимеров

класса полистирола и его сополимеров, обладающим повышенными значениями диэлектрической проницаемости. В качестве технологических растворителей использовался этилацетат и бутилацетат, ПДК которых в 10 раз выше, чем у дихлорэтана или их смеси. Исследование процесса электроформования из полистирола и его сополимеров показали, что наиболее механически прочные волокнистые структуры получаются из сополимера метилметакрилата, стирола и акрилнитрила (МСН) и сополимеров стирола и акрилнитрила (САН). При этом электростатический заряд на волокнах имеет большую плотность, что существенно улучшает фильтрующие показатели материала (табл. 2).

Таблица 2.

Марка материала	Стандартное сопротивление, Па	Коэффициент проскока, %	Коэффициент фильтрующего действия, мм Н₂О
ФПП	15	0.1	2.0
ФПС	14	0.006	3.0
ФПМ	13	0.008	3.2
ФППС	6	0.07	5.3

Однако показатели разрывной длины и относительного удлинения этих волокнистых материалов уступают аналогичным показателям промышленно выпускаемых фильтрующих материалов ФП из перхлорвинила (ФПП-15-1.5 и РФМ-1.7).

Первые работы по замене перхлорвиниловой смолы на полистирол и его сополимеры проводились сотрудниками НИФХИ им. Л.Я. Карпова А.Д. Михайловой и А.М. Смирновым в 1960-1980-е годы. Разработанная технология была реализована в промышленном масштабе. Однако применения новый полистирольный материал ФПС-15-1.7 не получил из-за низких прочностных характеристик волокнистого слоя. Разрывная длина материала составляла не более 100 м при относительном удлинении при максимальной нагрузке не более 20 % [3].

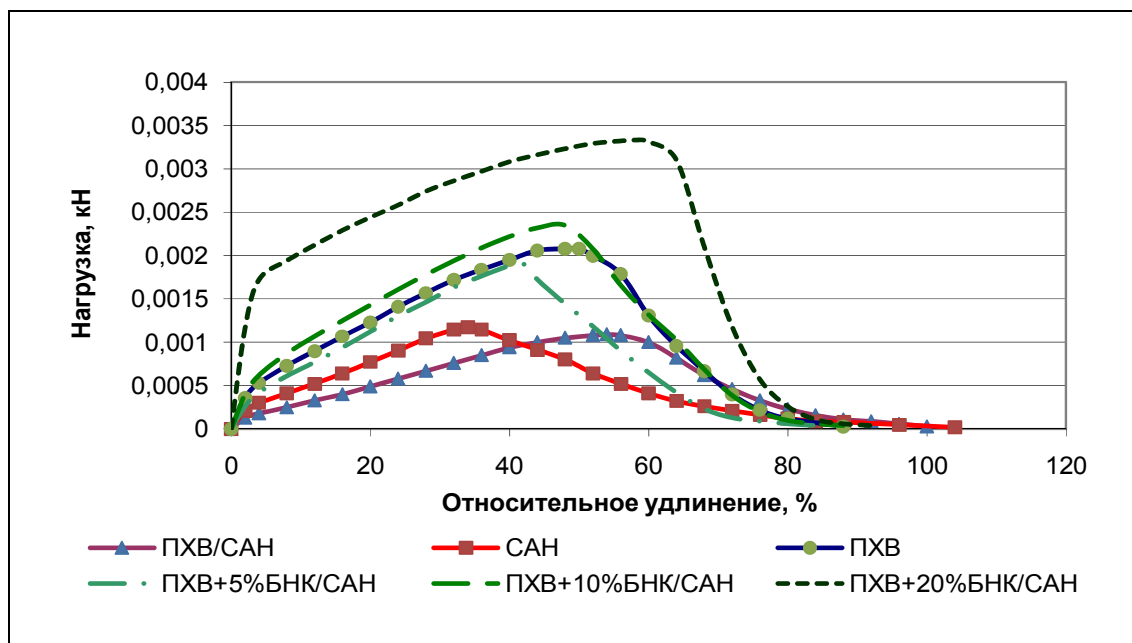


Рис. 1. Физико-механические свойства фильтрующих материалов

Для повышения физико-механических показателей материала использовался метод смешения волокон из полистирола и волокон из перхлорвиниловой смолы в процессе их получения. Таким способом удалось увеличить разрывную нагрузку до 200 м, а относительное удлинение при максимуме нагрузки до 40 % [4, 5].

Более значительного повышения физико-механических свойств материала удалось достичь при использовании добавки к перхлорвиниловой смоле бутадиен-нитрильного каучука. Это позволило значительно увеличивать относительное удлинение волокон (рис. 1. табл. 3).

Таблица 3.

Марка материала	Полимер	Относительное удлинение при макс. нагр., %	Разрывная длина, м
ФПП	Перхлорвиниловая смола (ПХВ)	50	310
ФПС	Полистирол	10	100
ФПМ	САН	30	160
ФППС	Смесь ПХВ+10 % БНК и САН	50	350

Таким образом, оптимальными физико-механическими свойствами

обладает композиционный материал, в котором волокна из перхлорвиниловой смолы с добавкой каучука служат каркасом, воспринимающим все механические нагрузки, а волокна из сополимера стирола несут на себе повышенный электростатический заряд, обеспечивающий высокую эффективность улавливания аэрозолей.

Благодаря улучшенным фильтрующим показателям удалось получить опытную партию материала с меньшим в три раза гидродинамическим сопротивлением при сохранении коэффициента проскока по наиболее проникающим аэрозолям ($d = 0.34$ мкм) на том же уровне, что и промышленно выпускаемые ФПП-15-1.5 и РФМ-1.7 (табл. 1).

Из нового материала ФППС получена опытная партия респираторов типа «Лепесток» на ОАО «Кимрская фабрика им. Горького» с показателями эффективности улавливания аэрозолей, соответствующих III классу респираторов типа «Лепесток-200». При этом сопротивление дыханию снизилось почти в три раза и стало соответствовать показателям респираторов II класса (около 5 Па) (табл. 4).

Таблица 4.

Марка респиратора	Марка материала	Коэффициент проскока по масляному туману, %	Стандартное сопротивление, Па
«Лепесток-200»	ФПП-15-1.5	0.1	15
«Лепесток-М»	ФППС-50	0.02	10

Разработка нового материала выполнялась по заказу ЗАО «Совэлектро» (хоздоговор № 1/2246 от 01.02.06). На новый материал разработаны технические условия и технологический регламент. Проведенные работы защищены девятью патентами РФ [4 – 12]. Отдельные этапы работы награждены золотой медалью IV Международного салона промышленной собственности "Архимед – 2001" и золотой медалью Международной выставки "Неделя высоких технологий в Санкт-Петербурге – 2002".

Литература

1. Ю.Н. Филатов. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). Монография. М.: Нефть и газ, 1997 г.
2. Т.С. Костилян, А.Г. Витенберг, И.В. Стокозов, М.И. Косткина, Д.А. Витенберг. Исследование состава летучих органических соединений, выделяющихся в воздух из полимерных фильтрующих материалов / Журнал аналитической химии, 2003. т. 58, № 6, с. 623-627.
3. Э.А. Дружинин. Производство и свойства фильтрующих материалов Петрянова из ультратонких полимерных волокон. М.: ИздАТ, 2007 г.
4. Патент РФ, № 2042394. Фильтрующий материал для респираторов и респиратор / И.В. Петрянов-Соколов, П.И. Басманов, Ю.Н. Филатов / Бюлл. изобр. (1995), № 22.
5. Патент РФ № 2042393. Способ получения фильтрующего материала для респираторов / Ю.Н. Филатов, В.И. Антонов, А.Г. Белонин, А.П. Кривошеков, С.П. Прибытков / Бюлл. изобр. (1995), № 24.
6. Патент РФ № 2135263. Фильтрующий материал для респираторов и способ получения рабочего слоя фильтрующего материала для респиратора / Ю.Н. Филатов, С.Н. Соловьев и др. / Бюлл. изобр. (1999), № 24.
7. Патент РФ № 2170607. Фильтрующий материал для средств защиты органов дыхания, способ получения рабочего слоя фильтрующего материала и средство защиты органов дыхания на его основе. /Ю.Н.Филатов, В.С.Астахов и др./ Оpub. Б.И. (2001) № 20.
8. Патент РФ № 2182510. Способ получения фильтрующего материала, фильтрующий материал и респиратор на его основе / Ю.Н. Филатов, Е.А. Галкин / Бюлл. изобр. (2002), № 14.
9. Патент РФ № 2182511. Способ получения фильтрующего материала, фильтрующий материал и средство для защиты органов дыхания / Ю.Н. Филатов, Е.А. Галкин / Бюлл. изобр. (2002), № 14.

10. Патент РФ № 2248838. Способ получения фильтрующего материала, фильтрующий материал, средство защиты органов дыхания / Ю.Н. Филатов, А.К. Будыка, А.Д. Шепелёв, С.Г. Саакян / Бюлл. изобр. (2005), № 9.

11. Патент РФ № 2267347. Способ получения фильтрующего материала и фильтрующий материал / А.К. Будыка, Ю.Н. Филатов, А.Д. Шепелёв, В.Г. Мамагулашвили и др. / Бюлл. изобр. (2006), № 1.

12. Патент РФ № 2283164. Фильтрующий материал, способ получения фильтрующего материала и респиратор / Ю.Н. Филатов, А.К. Будыка, В.Г. Мамагулашвили, И.Ю. Филатов / Бюлл. изобр. (2006), № 25.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ КОРОНИРОВАНИЯ И ПРОБОЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ С ИЗОЛИРОВАННЫМИ И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ ВОЛОКНАМИ

Супрун Н.Н., Свиридов В.Ф.

Филиал ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», г. Обнинск

Работа проводилась в 1993-1994 гг. в рамках проектов № 3-136 и 3-164 «Исследование воздействия искусственных аэрозольных образований на атмосферное электричество с целью создания способов снижения урона от грозы» программы ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, финансируемой Министерством науки и технической политики Российской Федерации.

Искусственное воздействие на грозовую облачность с целью подавления ее активности планомерно велось почти 20 лет в США и СССР с конца 50-х годов прошлого века [1 - 6].

Первые полевые эксперименты по засеву грозовых облаков металлизированными волокнами («chaff») проводились в штате Аризона по проекту «Флагшток» в 1965 и 1966 гг. После засева наблюдалось затухание вертикальных электрических полей [1].

В 1972-1974 гг. в США была выполнена серия экспериментов по засеву грозовых облаков с самолета, на котором были установлены две специальные «мельницы», разрезавшие жгут из 3000 проводящих волокон диаметром 25 мкм на отрезки длиной 10 см. Было засеяно 10 грозовых облаков, 18 облаков были контрольными. Анализ данных показал уменьшение числа молний на одну треть, что является статистически незначительным результатом. Однако качественные оценки свидетельствовали о значительном различии между засеянными и контрольными облаками [3].

Тогда же было экспериментально проверено существование коронных разрядов на «мякине» («chaff»), сброшенной в грозовое облако с самолета. В качестве индикатора разрядов использовалось их радиоизлучение, измерявшееся радиометром, установленном на другом самолете, пролетавшем вне грозового облака. После засева появлялось радиоизлучение, существовавшее относительно долго и соответствующее суммарному току коронирования 12-25 А. Отмечен факт прекращения радиоизлучения после вспышки молнии с появлением его вновь через некоторое время [4].

В основе идеи применения электропроводящих волокнистых частиц с целью *подавления* молний лежит предположение, что на частицах в грозовой облачности будет возникать коронный разряд, увеличивающий ионизацию воздуха и его проводимость до степени, достаточной для разрядки облаков без пробойных явлений.

Такое же предположение о коронировании на отдельных каплях или при соударении двух крупных жидких частиц, коронировании на кристаллах либо тающих сухих градинах лежит в основе объяснений причин *инициирования* молний [7].

Таким образом, два противоположных последствия (подавление и инициирование) объясняются одной и той же причиной (коронным разрядом на изолированных телах), что, естественно, ставит под сомнение правомочность применения понятия «коронный разряд» к рассматриваемому явлению. Кроме этого, нам не удалось найти в литературе сведений о прямых наблюдениях на изолированных телах явления коронирования в понятиях классической физики газового разряда [8, 9].

Нами была выполнена серия измерений вольтамперных характеристик (ВАХ) разряда с одиночной иглы и с цепочки из нескольких игл, моделирующих изолированные (а точнее, взвешенные в атмосфере)

электропроводящие волокна, в вертикальном электрическом поле геометрии «плоскость - плоскость» и «цилиндр - плоскость».

В качестве игл использовались отрезки нихромовой проволоки диаметром 0.3 мм и длиной 30 мм для случая одиночной иглы и 5 мм для цепочки. Иглы приклеивались к заостренным концам стеклянных палочек, вставленных другими концами в пластину из оргстекла, образуя гребенку. Гребенку через изолирующую штангу крепили на штативе и вводили вертикально в пространство между электродами с возможностью вертикального перемещения. Величины воздушных промежутков электрод-игла и игла-игла измеряли с помощью катетометра КМ-8 с точностью 0.1 мм. Через него же вели визуальное наблюдение за красивым и захватывающим явлением короны и за всегда неожиданным пробоем воздушных промежутков.

Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

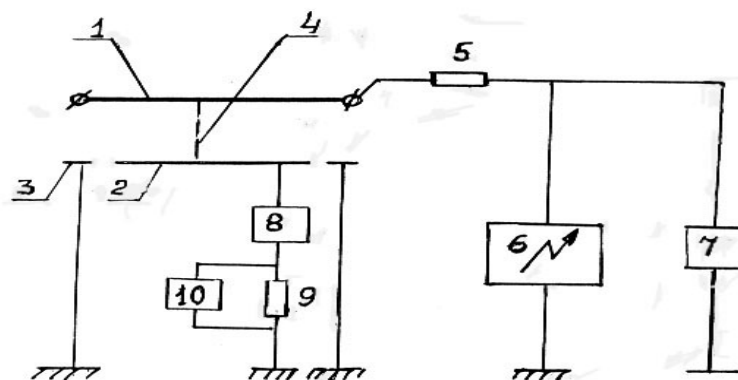


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки.

1,2 – электроды; 3 – охранный кольцо; 4 – гребенка игл; 5 – резистор; 6 – высоковольтный источник; 7 – киловольтметр; 8 – микроамперметр; 9 – резистор; 10 – микровольтметр

Электроды 1 и 2 крепились горизонтально на изолирующих стойках, при этом нижний электрод 2 (плоскость $120 \times 120 \text{ мм}^2$ из фольгированного

гетинакса) имел охранное кольцо 3. замыкающее на «землю» токи утечки по конструктивным элементам, и был всегда заземлен через измерители тока.

Высокое постоянное и переменное напряжения подавали на верхний электрод через резистор 5, ограничивающий ток и исключающий возможность образования дугового разряда и короткого замыкания. В качестве источников высокого напряжения использовали двуполупериодный ламповый выпрямитель с трансформатором на 20 кВ и полупроводниковый выпрямитель с умножением напряжения до 60 кВ. Источник ВВ-20 позволял заземлять «плюс» либо «минус», другой источник имел заземленный «плюс». Напряжение на электродах измеряли статическим киловольтметром С-96, имеющим шкалы на 7,5; 15; 30 кВ с ценой деления 0.1; 0.2 и 0.5 кВ соответственно.

Ток разряда при постоянном напряжении измеряли гальванометром М195/3 с ценой деления $1.5 \cdot 10^{-9}$ А и предельным током 10.5 мкА или микроамперметром М194 с ценой деления 0.05 мкА (на пределе 7,5 мкА) и 10 мкА (на пределе 1500).

Ток разряда при переменном напряжении определяли по падению напряжения на резисторе величиной 10 кОм микровольтметром ВЗ-57 с предельно допустимой погрешностью 2.5 % от верхнего предела поддиапазонов 1-300 В.

На рис. 2 представлены ВАХ разряда с цилиндра (отрезок проволоки диаметром 0.7 мм и длиной 700 мм) над плоскостью и с одиночной иглы длиной 3 см между ними при постоянном (выпрямленном) напряжении и при различных величинах воздушного промежутка «цилиндр-игла» (расстояние цилиндр-плоскость 5.8 см).

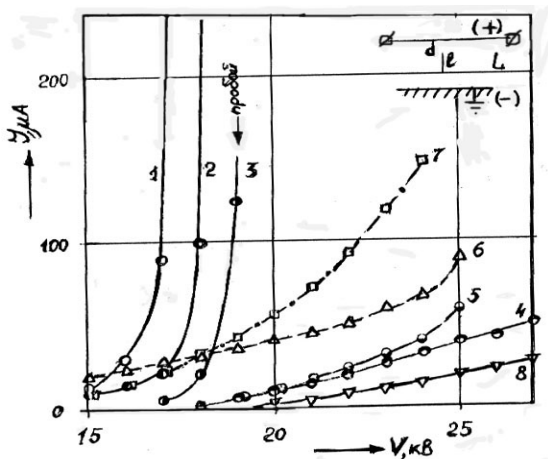


Рис. 2. Вольтамперные характеристики разряда с одиночной иглы длиной $l = 3$ см в поле между цилиндром и плоскостью при $L = 5.8$ см и величине воздушного промежутка d : 1 – 0.23 см; 2 – 0.3 см; 3 – 1.1 см; 4 – 1.84 см; 5 – 2.4 см; 6 – $d = 0$ (контакт на цилиндре); 7 – $d = 2.8$ см (контакт на плоскости); 8 – без иглы.

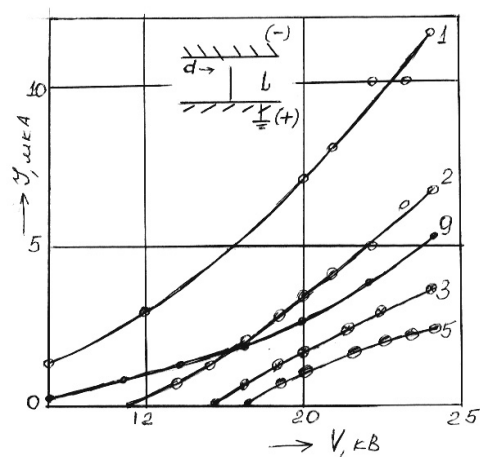


Рис. 3. Вольтамперные характеристики разряда с одиночной иглы длиной 3 см в поле между плоскостями при $L = 10$ см и величине воздушного промежутка d : 1 – 0 см (контакт на верхней плоскости, корона отрицательная); 2 – 0.5 см; 3 – 1.5 см; 5 – 3.4 см; 9 – 7 см (контакт на нижней плоскости, корона положительная)

Коронирование (корона положительная, кривая 8) в отсутствии иглы начинается при величине напряжения на цилиндре около 19 кВ, ток растет с увеличением напряжения почти линейно, и до 27 кВ корона визуально не наблюдается, хотя ток достигает величины 26 мкА. При 28 кВ появляются броски тока, что свидетельствует о приближении к условиям искрового пробоя. При введении иглы с контактом на плоскости (кривая 7) геометрия поля фактически становится геометрией «острие-цилиндр», начальное напряжение снижается до 10 кВ (ток 3 мкА при напряжении 12 кВ). При 24 кВ ток достигает 147 мкА. При 25 кВ процесс становится неустойчивым, что приводит к нерегулярным броскам тока с соответствующими колебаниями напряжения. В этой геометрии доминирующую роль играет отрицательная корона с конца иглы.

Разрыв контакта с плоскостью (воздушный зазор 0.4 см, кривая 5) резко уменьшает величину тока до 59 мкА при 25 кВ. При еще большем

разрыве (зазор около 1 см, кривая 4) ток становится еще меньше (55 мкА при 27 кВ).

Дальнейшее перемещение иглы в сторону цилиндра приводит к обратному эффекту – коронный ток возрастает (кривые 1, 2, 3). При воздушных зазорах 1.1 см сверху и 1.7 см снизу при 19 кВ наступает искровой пробой. Уменьшение воздушного зазора сверху до 0.3 см приводит к возрастанию тока до 350 мкА при 18.5 кВ с мощной видимой короной на обоих концах иглы. Характерно, что область видимого свечения сверху достигает цилиндра, однако пробоя не наступает. Максимально достигнутая величина тока в этих опытах составила 420 мкА при напряжении на цилиндре 17.5 кВ и величине воздушного зазора $d = 0.23$ см.

Контакт иглы с цилиндром приводит к резкому падению тока до 26.5 мкА при 17 кВ и 90 мкА при 25 кВ (кривая 6). При этом геометрия поля соответствует схеме острие-плоскость, корона положительная.

На рис. 3 представлен ВАХ разряда с иглы длиной 3 см в поле между плоскостями при постоянном напряжении и при различных величинах воздушного промежутка «игла - верхняя плоскость» (расстояние между плоскостями 10 см). Здесь наибольшие значения коронного тока достигались при контакте иглы с верхней плоскостью, зажигалась отрицательная корона на нижнем конце иглы (кривая 1). Разрыв контакта приводил к возникновению коронирования на обоих концах иглы: на верхнем корона – положительная, на нижнем – отрицательная.

В этих опытах условия для возникновения пробоя не были достигнуты. Для получения пробоя расстояние между плоскостями было уменьшено до 44 мм. Искровой пробой возникал при напряжении 13.5 кВ независимо от координаты центра иглы. Ток коронирования на игле, симметрично расположенной относительно плоскостей, достигал 125 мкА при напряжении 14 кВ.

На рис. 4 и 5 представлены зависимости тока разряда от расположения иглы относительно электродов, построенные по данным, представленным на рис. 2 и частично на рис. 3 при фиксированных значениях напряжения на электродах (+17 кВ и ± 24 кВ соответственно).

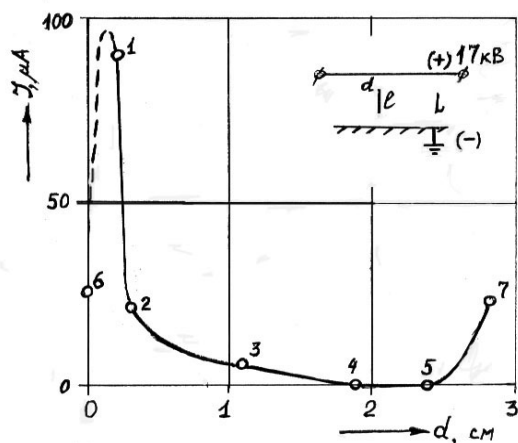


Рис. 4. Зависимость тока разряда с одиночной иглы длиной 3 см в поле между цилиндром и плоскостью от координаты верхнего конца иглы d при $L = 5.8$ см, $V = 17$ кВ.

Цифры у точек соответствуют номерации кривых на рис. 2.

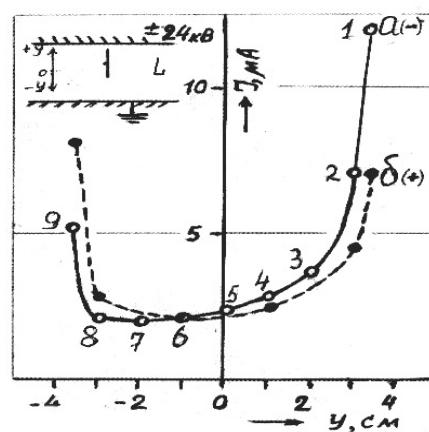


Рис. 5. Зависимость тока разряда с одиночной иглы длиной 3 см от координаты ее центра в поле между плоскостями при $L = 10$ см, $V = 24$ кВ.

а – заземлен (+), б – заземлен (-).

Цифры у точек соответствуют номерации кривых на рис. 3.

В первом случае форма зависимости определена геометрией поля (цилиндр - плоскость), во втором – полярностью электродов и, соответственно, полярностью короны на игле. В плоскопараллельной геометрии поля эти зависимости имеют минимум и два максимума, соответствующих контактам иглы с электродами. При этом в случае контакта с верхней «отрицательной» плоскостью (точка 1 кривой «а» на рис. 5, корона отрицательная) ток значительно больше, чем в случае контакта с нижней «положительной» плоскостью (точка 9 кривой «а», корона положительная). Смена полярности электродов приводит к изменению характера асимметрии кривой на противоположную. Такое поведение этих зависимостей соответствует общепринятым

представлениям о различных физических механизмах воспроизводства электронов в случаях положительного и отрицательного коронирования. Остаются загадкой сами эти механизмы, существующие одновременно на концах одной иглы при том, что вблизи электрода зона плазменного свечения касалась его, как бы замыкая оставшийся воздушный промежуток и приводя геометрию поля в совершенно другую форму.

Характерно, что при увеличении от нуля напряжения на электродах положительная и отрицательная короны на концах изолированной иглы возникали *одновременно*, обеспечивая непрерывность электрической цепи. Та же одновременность зажигания наблюдалась (визуально и по появлению тока) в опытах с иглой, на нижний конец которой был прикреплен шарик диаметром 5 мм. Это позволяет предположить, что наблюдение разрядов с обводненных градин, ледяных кристаллов и тому подобных атмосферных явлений [7] – не коронирование, а нечто другое, например, физический разрыв поляризованного или однополярно заряженного тела.

Факт одновременного зажигания положительной и отрицательной короны на равно или разно заостренных концах изолированной иглы свидетельствует о том, что на отрицательном или более заостренном конце иглы возникает объемный заряд, тормозящий развитие короны до достижения начальной напряженности зажигания на противоположном конце. Было бы интересно визуализировать процесс смещения эквипотенциалей графическими построениями. Однако эта задача авторам данной работы не по силам.

На следующих двух рисунках (6 и 7) показаны ВАХ разрядов с цепочек из нескольких (до 9 шт.) иголок в постоянном и переменном поле между цилиндром и плоскостью. В геометрии плоскость - плоскость таких зависимостей получить не удалось, так как коронирования на иглах не было. Сразу наступал искровой пробой. Тогда как в геометрии цилиндр -

плоскость пробой наступал на фоне короны с цилиндра и на фоне зависимости тока для цепи с емкостным сопротивлением. Во всех случаях **коронирования на иглах цепочки не было**, что можно объяснить взаимным экранированием поля соседними иглами так, что разности потенциалов на них и, соответственно, напряженности поля между ними оказывается недостаточно для развития коронного разряда.

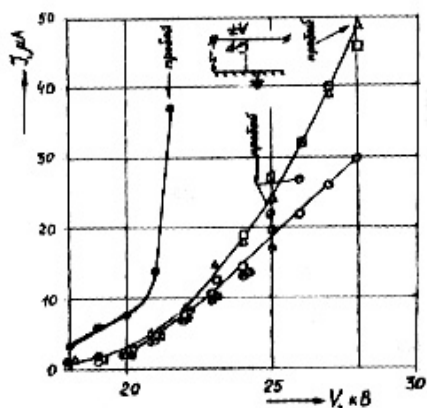


Рис.6 Вольтамперные характеристики разряда с цепочки из n штук изолированных игл в постоянном поле между цилиндром и плоскостью.
 1. $L = 5,8$ см, $n = 4$, $\sum d_i = 2,56$ см, расстояние между цилиндром и первой иглой d_1 : ● - 0,15 см, ○ - 0,64 см, ● - 1,1 см, ○ - $n = 0$.
 2. $L = 4,9$ см: Δ - $n = 5$, $\sum d_i = 2,3$ см, $d_1 = 0,34$ см; □ - $n = 3$, $\sum d_i = 3,3$ см, $d_1 = 0,7$ см.

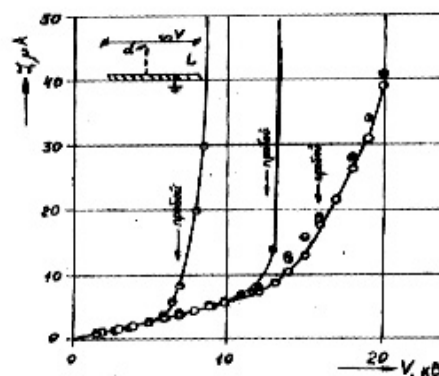


Рис.7 Вольтамперные характеристики разряда с цепочки из n штук изолированных игл в переменном поле между цилиндром и плоскостью при $L = 4,9$ см: ○ - $n = 0$; ● - $n = 3$, $d = 0,7$; ○ - $n = 5$, $d = 0,45$; ● - $n = 7$, $d = 1,0$; ○ - $n = 9$, $d = 0,1$.

В табл. 1 приведены результаты определения напряжения пробоя в постоянном плоскопараллельном поле («а»), постоянном и переменном поле геометрии цилиндр - плоскость («б» и «в» соответственно).

Таблица 1а.

№ опыта	Число игл	Расстояние между пластинам и h, см	Суммарный воздушный промежуток Σd , см	Напряжение пробоя $V_{пр}$, кВ	$V_{пр}/\Sigma d$, кВ/см	Примечания
1	0	2.95	2.95	28	9,5	Высоковольтный выпрямитель ВВ-20
2	1	5.1	2.1	21	10.0	
3	1	4,4	1.4	13.5	9,6	
4	4	4,5	2.4	25	10.4	
5	4	4,5	1.67	17	10.2	
6	4	4,5	1.37	15	10.9	
7	0	1.43	1.43	20	14,0	Высоковольтный выпрямитель ГК-63
8	7	5.03	1.57	24	15.3	
9	5	4,87	2.4	31	12.9	
10	2	2.81	1.8	23	12.8	
11	1	1.93	1.42	20	14,1	

Таблица 1б.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
Число игл	0	3	5	5	4	4	4
Расстояние цилиндр-плоскость h, см	5.8	4,9	4,9	4,9	5.8	5.8	5.8
Суммарный воздушный промежуток Σd , см	5.8	3.3	2.3	2.4	2.56	2.56	2.56
Напряжение пробоя $V_{пр}$, кВ	-	-	28	31	21.5	25	26
$V_{пр}/\Sigma d$, кВ/см	-	-	12.2	12.9	8,4	10.0	10.1

Таблица 1в.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
Число игл	0	3	5	7	7	9	0
Расстояние цилиндр-плоскость h, см	5.2	4,9	4,9	4,9	5.0	5.2	0.6
Суммарный воздушный промежуток Σd_n , см	5.2	3.34	2.0	1.36	1.57	0.58	0.6
Напряжение пробоя $V_{пр}$, кВ	-	-	20	15	18,5	6,7	7
$V_{пр}/\Sigma d_n$, кВ/см	-	-	10.0	11.0	11.8	11.6	11.7

Отсюда видно, что во всех случаях пробой происходит при одной и той же для данного вида поля величине «средней» критической напряженности, определяемой как отношение напряжения на электродах

$V_{\text{пр}}$ к величине суммарного воздушного промежутка Σd : $E_{\text{кр}} = V_{\text{пр}} / \Sigma d$.

Исходя из простых геометрических построений и полагая, что иглы (или токопроводящие волокна) длиной l в среднем ориентированы под углом 45° к силовым линиям поля и что в объеме l^3 находится одно волокно, определим «пробойную» счетную концентрацию волокон в аэродисперсном образовании, заполняющем воздушное пространство протяженностью H между землей и центром зарядов грозового облака с потенциалом V : $C \geq (2^{-3/2} l^{-3}) (1 - V/E_{\text{кр}} H)$.

Литература

1. А. Деннис. Изменение погоды засевом облаков. М.: Мир, 1983.
2. И.И. Гайворонский и др. Двадцать пять лет исследований в ЦАО в области искусственных воздействий на облака и туманы (обзор). Труды ЦАО, вып. 104, 1976, с. 13-18.
3. H.W. Kasemir et al. Lightning suppression by chaff seeding at the base of thunderstorms. J. Geophys. Res., 1976, 81. № 12.
4. P.R. Krehbiel, D.W. Rust. Microwave radiometric detection of corona from chaff within thunderstorms. J. Geophys. Res., 1977, 82. № 27, p. 3945-3950 (Ref).
5. R.F. Griffiths. A hypothetical cloud-seeding method for facilitating the occurrence of lightning. J. Appl. Meteorol., 1977, 16, № 6, p. 658-661.
6. J.H. Helsdon. Chaff seeding effects in a dynamical-electrical cloud model. J. Appl. Meteorol., 1980. 19, № 9, p. 1101-1125 (Ref).
7. В.А. Дячук, В.М. Мучник. Коронный разряд обводненных градин как основной механизм инициирования молний. ДАН СССР, 1979, т. 248, № 1.
8. Н.А. Капцов. Электрические явления в газах и вакууме. М.-Л.: ОГИЗ, 1947.
9. Ю.П. Райзер. Физика газового разряда. М.: Наука. 1987.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛАСТОМЕРОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВОК ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Филатов И.Ю.¹, Небратенко М.Ю.², Филатов Ю.Н.¹, Наумова Ю.А.²

¹ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»

²МИТХТ им. М.В. Ломоносова

Введение

Большинство свойств фильтрующих волокнистых материалов, таких как механические свойства, термостойкость, хемостойкость, поверхностный электростатический заряд и, следовательно, эффективность фильтрации и др., определяются выбором исходного полимера. Поэтому модификация используемых полимерных систем с широкой возможностью вариации изменяемых свойств и разработка волокнистых материалов со свойствами, отличными от традиционно выпускаемых материалов ФП, в настоящее время является актуальной задачей.

Целью исследования явился поиск полимеров – эластомеров и термоэластопластов, совместимых в растворе с хорошо освоенными в процессе электроформования полимерами, такими как хлорированный поливинилхлорид и сополимеры стирола, а также исследования их влияния на различные свойства прядильных растворов и полученных волокнистых материалов.

Выбор в качестве модифицирующей добавки эластомерных материалов обоснован тем, что данный вид полимерных материалов обладает уникальным свойством, а именно способностью легко деформироваться под действием небольших нагрузок и восстанавливать свою форму после значительных деформаций вследствие повышенной гибкости цепи. Это определяет гораздо большую податливость по сравнению с жесткоцепными полимерами, которыми и являются

хлорированный поливинилхлорид (ХПВХ) и сополимер стирола с акрилонитрилом (САН). Соответственно введение эластичного компонента позволит увеличить относительное удлинение волокон и улучшить физико-механические свойства получаемого волокнистого материала и т.п. [1].

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны следующие полимеры: хлорированный поливинилхлорид (ХПВХ), сополимер стирола и акрилонитрила (САН), полистирол (ПС), фторполимер (Ф-42), бутадиен-стирольный каучук СКМС-30 РП, полиуретан (ПУ), бутадиен-нитрильный каучук БНКС-28 АМН, олигомер СКН-26-1А, полихлоропреновый каучук Наирит ДП, термоэластопласт ДСТ-30Р (сополимер бутадиена и стирола), фторкаучук СКФ-26.

Совмещение полимеров - процесс получения однородной, гомогенной смеси полимеров. Одним из способов предварительной оценки растворимости полимера является сопоставление величин параметров растворимости δ Гильдебранда для полимера $\delta_{\text{п}}$ и растворителя $\delta_{\text{р}}$. При этом часто считается, что если соблюдается условие $\delta_{\text{п}} \approx \delta_{\text{р}}$, то можно ожидать растворения полимера в данном растворителе. Опыт показывает, однако, что с помощью такого сопоставления можно лишь уверенно "отбросить" те растворители, в которых растворение данного полимера происходить не будет. Это системы, для которых $\delta_{\text{п}} \gg \delta_{\text{р}}$ или $\delta_{\text{п}} \ll \delta_{\text{р}}$. С помощью такой оценки удастся значительно сузить круг подлежащих проверке растворителей, в которых полимеры могут быть совместимы [2].

Оценка совместимости полимеров проводилась методом предложенным Добри и Бойер-Ковеноки. С этой целью сливают прозрачные растворы двух полимеров в одном растворителе. Если при этом раствор остается прозрачным, то полимеры считают совместимыми, если раствор мутнеет и расслаивается, и каждый слой содержит в

основном один из полимеров, то полимеры считаются несовместимыми. Расслоение растворов можно наблюдать не при любых концентрациях. Так, разбавленные растворы не расслаиваются вообще. В очень концентрированных растворах расслоение практически не происходит вследствие большой вязкости. Поэтому выбирают некоторый средний интервал концентраций порядка 5 – 10 %, чтобы время, необходимое для образования двух слоев, было бы не очень большим [3].

Были изучены системы с разным содержанием эластомера от 10 до 50 % масс, за исключением смеси ХПВХ с ДП, так как при введении более чем 20 % каучука процесс становился неустойчивым.

Динамическая вязкость растворов смесей полимеров измерялась с помощью вискозиметра Хепплера с падающим шариком. Физико-механические свойства пленок и волокнистых материалов исследовались на разрывной машине. Волокнистые материалы были получены на лабораторной однокапиллярной установке электроформования.

Эффективность улавливания аэрозолей оценивали с помощью лазерного аэрозольного спектрометра ЛАС [7] по частицам атмосферного аэрозоля диаметром 0.3 мкм при линейной скорости фильтрации 1 см/с. Теплостойкость фильтрующих материалов оценивалась по отсутствию деформации под действием минимальной нагрузки при термостатировании.

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены результаты исследования совместимости полимеров в растворе.

Технологически совместимых пар было выявлено пять: ХПВХ+ПУ, ХПВХ+БНКС-28АМН, ХПВХ+СКН, ХПВХ+Наирит ДП, САН+ПУ.

Одним из решающих показателей для оценки способности полимера к переработке в волокно является вязкость его растворов. Ниже

представлены графики зависимости вязкости от концентрации полимера при различном содержании эластомера.

Таблица 1.

	ХПВХ	САН	Ф-42	ПС
ПУ	ЭА/ДХЭ	ЭА		
БНКС-28АМН	ЭА/БА			
СКН-26-1А	ЭА/БА			
Наирит ДП	БА			
ДСТ-30Р				
СКФ-26				
СКМС-30РП				

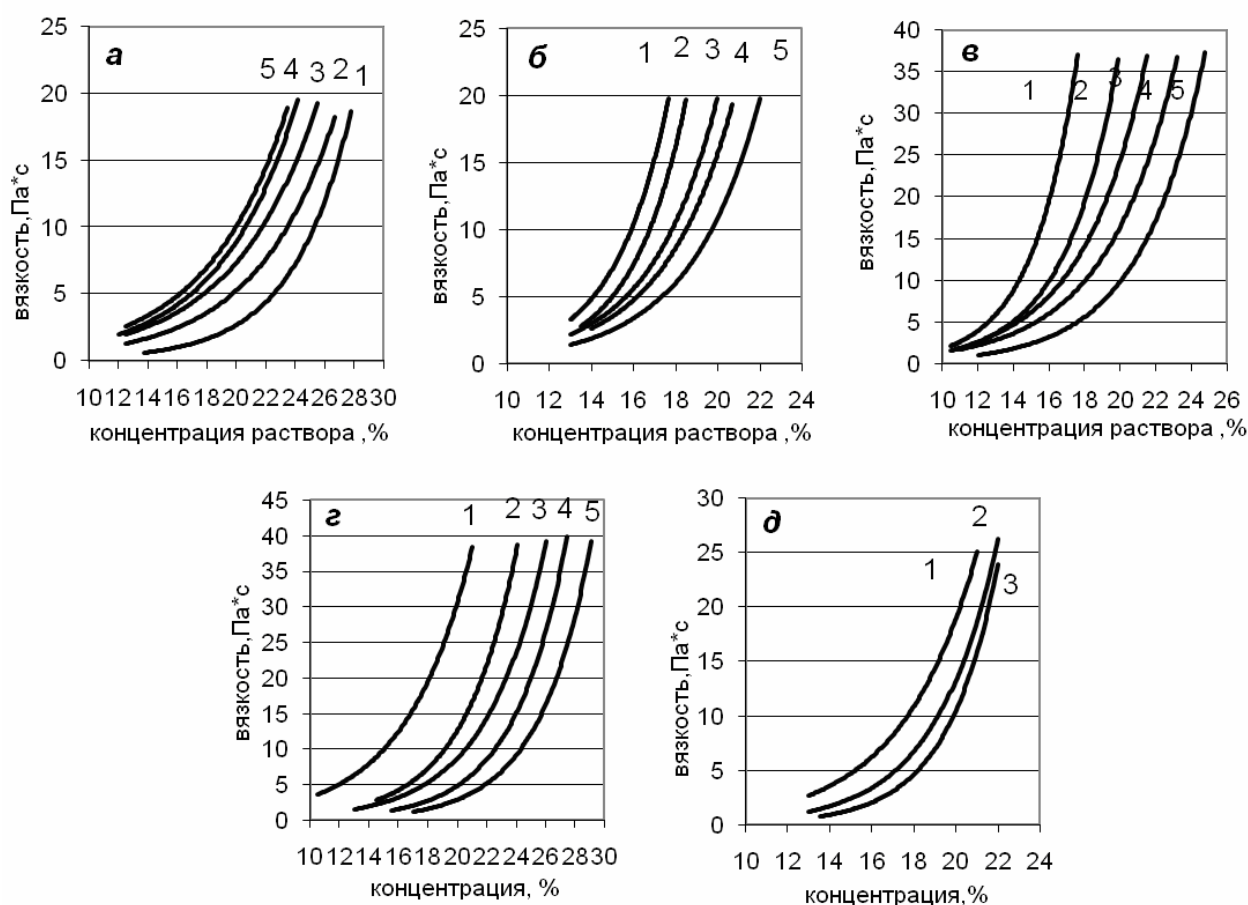


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости от концентрации раствора:
 а - ХПВХ+СКН-26-1А; б - ХПВХ+БНКС-28АМН; в - ХПВХ+ПУ;
 г - САН+ПУ; д - ХПВХ+ Наирит ДП
 (содержание эластомера: 1 - 0%; 2 - 10%; 3 - 20%; 4 - 30%; 5 - 50%)

Из представленных данных можно сделать следующий вывод: с увеличением содержания эластомера в смеси увеличивается вязкость за счет большей молекулярной массы данных эластомеров во всех случаях, кроме смеси ХПВХ+СКН, так как СКН является олигомером.

Большее значение вязкости при той же концентрации обуславливает снижение производительности процесса электроформования, так как уменьшается количество полимера на единицу объема раствора и, следовательно, при одном и том же значении объемного расхода раствора производительность по сухому волокну будет ниже [4].

Из растворов смесей полимеров были отлиты пленки. Результаты исследований физико-механических характеристик представлены в табл. 2.

Таблица 2.

Смесь	Содержание эластомера, %	Относит. удл. при разрыве, %	Прочность при растяжении, МПа	
			Условная	Истинная
ХПВХ	0	14.0	54.2	61.8
ХПВХ+БНКС	10	23.7	40.2	49.7
	20	77.0	18.8	33.2
	30	78.0	27.9	49.7
	50	445.0	16.0	87.0
ХПВХ+СКН	10	24.0	35.2	43.7
	20	86.0	21.9	40.7
	30	210.0	20.4	63.4
	50	490.0	10.5	61.9
ХПВХ+ПУ	10	6.0	29.3	31.1
	20	39.0	18.1	25.2
	30	170.0	25.2	68.1
	50	575.0	29.9	201.9
САН	0	7.0	1.1	1.2
САН+ПУ	10	7.5	29.7	31.9
	20	14.3	30.2	34.5
	30	420.0	26.0	135.6
	50	600.0	34.2	239.3

Как видно из табл. 2, с увеличением содержания эластомера равновесный модуль при заданном удлинении падает, а значения прочности при растяжении и истинной прочности при растяжении проходят через максимум. Это объясняется ориентацией макромолекул и снижением внутренних напряжений.

Результаты исследования влияния введения эластичного компонента на физико-механические свойства волокнистого материала, полученного из растворов смесей полимеров, приведены в табл. 3, а типичный вид кривых нагрузка-удлинение на примере смеси САН + ПУ приведен на рис. 2.

Таблица 3.

Разрывная длина (L_p , м) и относительное удлинение (ϵ , %) при разрыве пленок

Содержание эластомера, %	0		10		20		30		50	
	L_p	ϵ	L_p	ϵ	L_p	ϵ	L_p	ϵ	L_p	ϵ
ХПВХ+БНКС	310	100	390	100	510	120	630	160	770	300
ХПВХ+СКН			380	100	490	130	590	130	500	250
ХПВХ+ДП			340	100	420	110	-	-	-	-
ХПВХ+ПУ			410	110	560	140	890	170	970	570
САН+ПУ	200	50	370	60	540	140	760	170	890	520

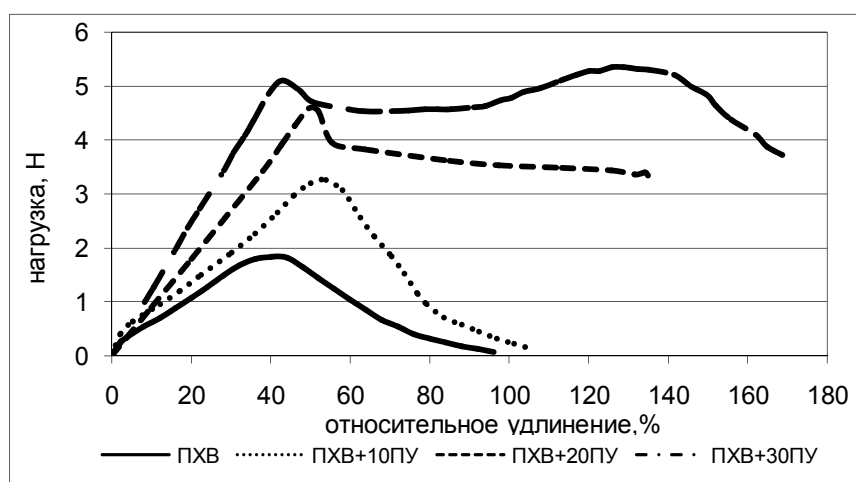


Рис. 2. Кривые нагрузка-удлинение волокнистых материалов из смеси САН+ПУ.

Физико-механические испытания волокнистых материалов показывают, что введение гибкоцепного полимера значительно меняет его прочностные свойства.

Наибольшее влияние на физико-механические характеристики материала на основе ХХПВХ оказывает ПУ. Для образца с содержанием эластомера 30 % относительное удлинение и нагрузка при разрыве возросли по сравнению с ХПВХ практически в два раза. Влияние БНКС и СКН практически одинаковое.

Очень сильное влияние ПУ наблюдается для волокнистых материалов на основе САН. Разрывная нагрузка увеличивается почти в 2.5 раза уже при добавлении всего 10 % эластомера, а относительное удлинение при разрыве увеличивается в 1.5 раза.

Материал ФП представляет собой статистически уложенные слои волокон. При его деформации фактически происходит «растаскивание» волокон. При этом во время процесса деформирования свой вклад в увеличение разрушающего усилия вносит по мере выпрямления все большее число волокон, достигая максимума. Таким образом, одновременно идут два процесса: выпрямление волокон и их деформация [4].

Очевидно, что с увеличением содержания гибкоцепного полимера эластичность волокон увеличивается. Это приводит к тому, что в разрушающее усилие свой вклад вносит одновременно большее число волокон, поэтому увеличивается разрывная нагрузка.

Кроме того добавка эластомера вызывает образование прочных склеек между волокнами в местах пересечения. Это приводит к тому, что появляется как бы сетка зацепления. На эту сетку сначала приходится все деформирующее усилие. После разрушения сетки идет выпрямление и растаскивание волокон, не влияющее на увеличение нагрузки.

При содержании 50 % эластомера волокнистый материал приобретает

свойства мембраны с большой плотностью упаковки за счет высокой эластичности волокон и наличия прочных склеек в местах пересечения волокон (рис. 3). Сетка зацеплений очень устойчива. Образец обладает большой эластичностью в отличие от волокнистого материала из жесткоцепных полимеров, который обладает только пластическими свойствами. Данные материалы характеризуются высоким относительным удлинением, усадкой во времени после получения, а также восстановлением формы после снятия нагрузки.

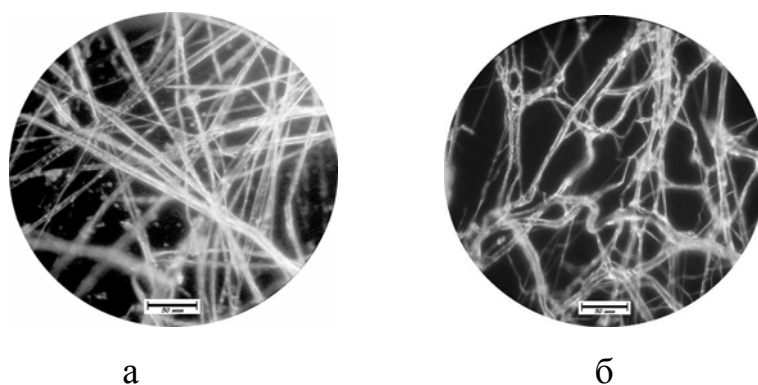


Рис. 3. Фотографии волокнистых материалов в оптическом микроскопе:
 а - без добавления эластомера, (б) - с содержанием эластомера 50 %.
 Увеличение 600X (линейка 50 мкм).

Результаты исследования теплостойкости полученных волокнистых материалов приведены в табл. 4.

Таблица 4.

Теплостойкость материалов (°C)

Содержание эластомера, %	0	10	20	30	50
ХПВХ+БНКС	100	68	55	53	53
ХПВХ+СКН	100	75	60	52	52
ХПВХ+ПУ	100	82	65	56	62
ХПВХ+Наирит ДП	100	91	85	-	-
САН+ПУ	105	86	65	55	45

Из экспериментальных данных видно, что с увеличением содержания эластомера теплостойкость волокнистого материала снижается. Это обусловлено тем, что при нормальной температуре эластомеры находятся в вязкотекучем состоянии за исключением ПУ. Это - термоэластопласт, который находится в высокоэластическом состоянии, тогда как САН и ХПВХ находятся в стеклообразном состоянии. Поэтому даже незначительные добавки эластомера приводят к снижению теплостойкости волокон.

Результаты измерений коэффициента проскока образцов материалов по атмосферному аэрозолю для волокнистых материалов с различным содержанием эластомера приведены на рис. 4.

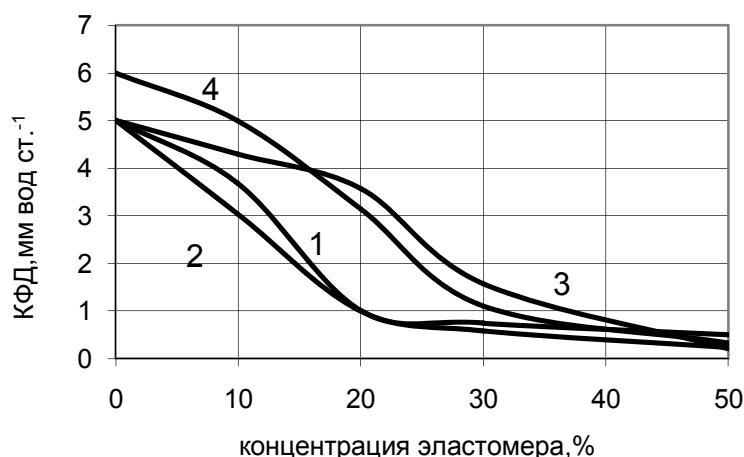


Рис. 4. Зависимость коэффициента фильтрующего действия волокнистых материалов от содержания эластомера (1-ХПВХ+СКН; 2-ХПВХ+БНКС; 3-ХПВХ+ПУ; 4-СААН+ПУ).

Из представленных данных можно сделать вывод: все добавки эластомеров ухудшают коэффициент фильтрующего действия из-за снижения величины поверхностного электростатического заряда. Это является следствием того, что эластомеры обладают меньшим показателем удельного объёмного электрического сопротивления (табл. 5. [5]). По

сравнению с остальными материалами ПУ оказывает наименьшее влияние на фильтрующие характеристики волокнистых материалов.

Необходимо также отметить, что при содержании до 30 % эластомера значительного изменения плотности упаковки, а, следовательно, и сопротивления не происходит.

Таблица 5.

Полимер	Удельное объёмное электрическое сопротивление, Ом·см
ПУ	$1 \cdot 10^{13}$
БНКС-28АМН	$3 \cdot 10^{12}$
Наирит ДП	$4.4 \cdot 10^{10} - 6 \cdot 10^{12}$
СКН-26-1А	$1 \cdot 10^{12}$
ХПВХ	$> 10^{16}$
САН	10^{16}

Заключение

Таким образом, добавление эластомеров в полимерные растворы значительно меняет свойства самого раствора, параметры процесса и весь комплекс свойств полученного волокнистого материала. Введение эластомера оказывает положительное влияние на физико-механические свойства материалов. Это может быть использовано при разработке новых материалов ФП для респираторов [6]. Однако теплостойкость материала и поверхностный заряд, а, следовательно, фильтрующие характеристики при этом снижаются. Также большая молекулярная масса обуславливает увеличение вязкости, что приводит к падению производительности процесса. Поэтому содержание эластомера должно оптимизироваться, исходя из конкретных задач. Кроме того, для специфических задач могут быть применены волокнистые мембраны с высокой плотностью упаковки.

Литература

1. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров. – М.: Химия, 1980. – 304 с.
2. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т. 1. Атомно-молекулярный уровень. – М.: Научный мир, 1999. – 544 с.
3. Тагер А. А., Физикохимия полимеров. – М.: Химия, 1978 . - 544 с.
4. Филатов Ю.Н., Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). - М.: Нефть и газ, 1997, – 297 с.
5. Химический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1983.
6. Патент РФ № 2283164. Фильтрующий материал, способ получения фильтрующего материала и респиратор / Ю.Н. Филатов, А.К. Будыка, В.Г. Мамагулашвили, И.Ю. Филатов. Бюлл. изобр. 2006, № 25.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФОНА, ПОЛУЧЕННОГО СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЯ

Гуляев А.И.^{1,2}, Филатов Ю.Н.^{1,2}, Будыка А.К.¹, Мамагулашвили В.Г.¹

¹ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»

²МИТХТ им. М.В. Ломоносова

Ключевые слова: термостойкие полимеры, полисульфон, микро- и нановолокнистые материалы, аэрозольные фильтры, атомные электростанции.

Многолетний мировой опыт эксплуатации атомных станций показывает, что при возникновении аварийных ситуаций возможен выброс горячего воздуха, насыщенного парами воды, загрязненного радиоактивными высокодисперсными аэрозолями. В связи с этим Госатомнадзор России разработал новые требования, по которым аэрозольный фильтр должен выдерживать температуру до 150 °С в присутствии паров воды и иметь эффективность фильтрации по наиболее проникающим частицам не ниже 99.95 % [1].

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются аэрозольные фильтры, которые снаряжаются волокнистым материалом, выполненным из перхлорвинила, температуростойкость которого не превышает 70 °С. В связи с этим создание нового поколения высокоэффективных фильтрующих материалов с использованием нановолокон, выполненных из термостойкого полимера, является актуальной задачей.

Как известно, термохимическая стойкость волокнистых материалов определяется в первую очередь стойкостью исходных полимеров [2]. Наиболее пригодными для создания фильтрующего материала стойкого к действию высоких температур и влажности до 100 % являются кардовые

полимеры типа полиарилида, а также политрифторстирол (ФПФС) и полисульфон (ФПСФ) (рис. 1 и 2).

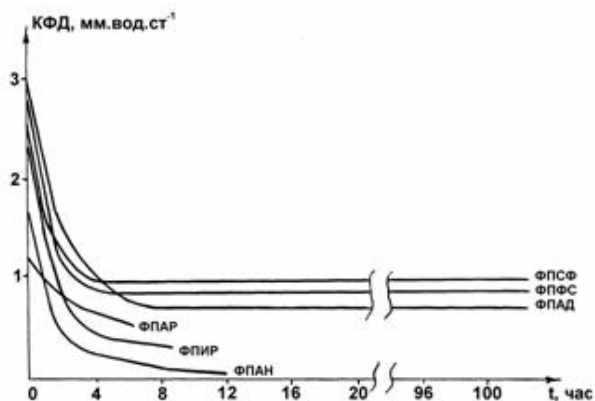


Рис.1. Зависимость коэффициента фильтрующего действия от времени воздействия насыщенным водяным паром при $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

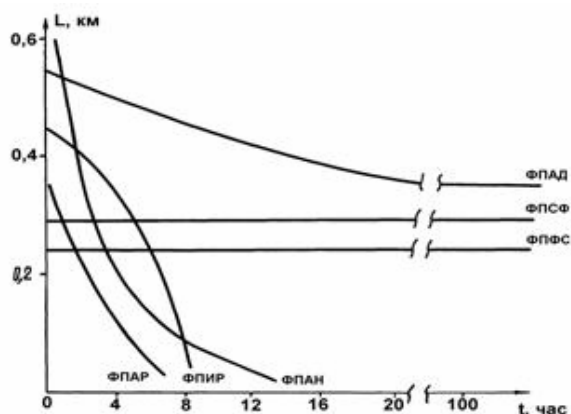
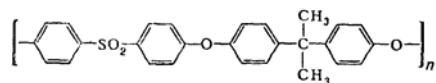


Рис. 2. Зависимость разрывной длины от времени воздействия насыщенным водяным паром при $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

В настоящее время производят три типа полисульфонов под следующими традиционными названиями: полисульфон (выпускается под торговыми названиями юдель, ультразон S, ПС-Н), полиэфирсульфон (виктрекс, ультразон E) и полифениленсульфон (радель).

Объектом исследования являлся полисульфон (марка Udel-1700)



В промышленности его получают поликонденсацией динатриевой соли 4,4'-диоксифенил-2.2-пропана (бисфенола А) и 4,4'-дихлордифенилсульфона в диметилсульфоксиде и хлорбензоле. Степень полимеризации промышленных полисульфонов колеблется от 60 до 120, что соответствует молекулярным массам от 30000 до 60000. Некоторые характеристики полисульфона приведены в таблице.

Плотность, г/см ³	1.25
Температура стеклования, °С	190
Модуль упругости при растяжении, МПа	2480
Относительное удлинение, %	50-100
ρ_0 . Ом*см	$5.0 \cdot 10^{16}$

В качестве растворителей использовались циклогексанон (ЦГН), дихлорэтан (ДХЭ), хлороформ (Хф), метиленхлорид (Мх), N,N'-диметилформамид (ДМФА), N,N'-диметилацетамид (ДМАА).

В качестве вещества, повышающего электропроводность (электролита) полимерного раствора, использовался тетра-н-бутиламмониййодид $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{N}]\text{I}$, молекулярная масса 370; $T_{\text{плавл}}$ - около 142 – 145 °С.

В виду того, что процесс электроформования волокон относится к сухим способам получения волокон, определяющим свойством полимерного раствора, применительно к данному процессу, будет являться вязкость. Поэтому целесообразно исследовать реологические свойства прядильных растворов вышеуказанных полимеров.

Исследовалась вязкость концентрированных (от 15 до 22.5 масс. %) растворов полисульфона в дихлорэтано, циклогексаноне, диметилформамиде, диметилацетамиде, хлороформе и метиленхлориде, а также растворов полифениленсульфона в диметилацетамиде и диметилформамиде.

Динамическая вязкость растворов была измерена на вискозиметре Хепплера. Кривые вязкости представлены на рис. 3.

Как видно из рис. 3. с увеличением концентрации полимера вязкость возрастает для всех исследуемых растворов. Наиболее заметно – с увеличением концентрации полимера для раствора полисульфона в

дихлорэтане. Также были построены кривые вязкости для растворов полифениленсульфона в диметилформамиде и диметилацетамиде.

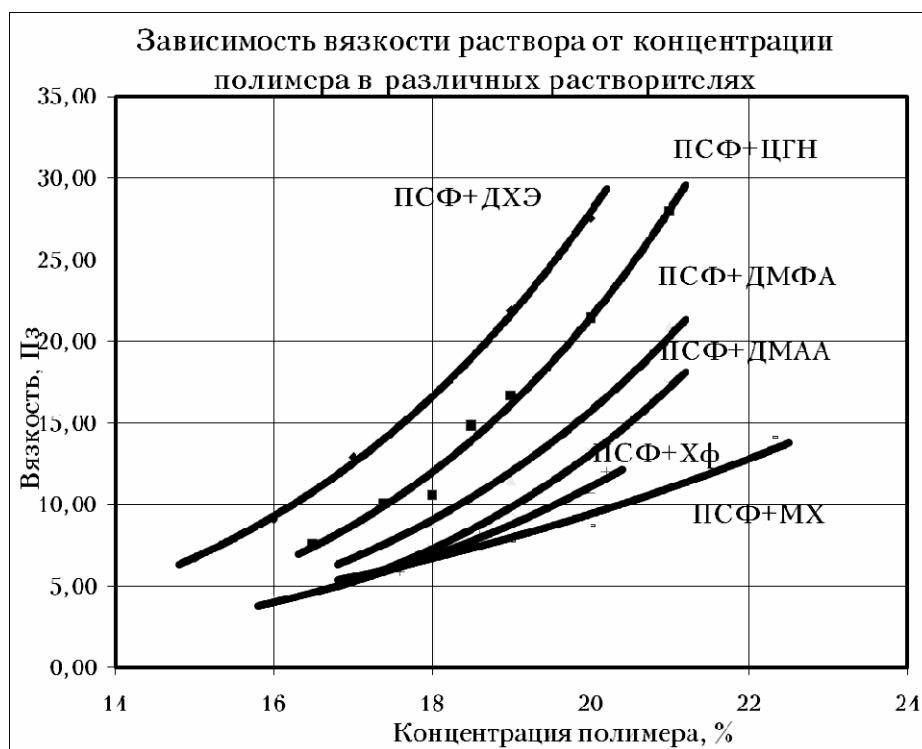


Рис. 3. Зависимость вязкости раствора от концентрации полимера в различных растворителях

Основываясь на результатах исследования зависимости вязкости растворов данных полимеров от их концентрации, можно сделать вывод о технологическом качестве исследуемых растворителей. С позиций технологии более хорошим считается тот растворитель, раствор которого имеет меньшую вязкость при одинаковой концентрации полимера. Из графика видно, что лучшим растворителем для полисульфона будет метиленхлорид, и далее в ряду исследуемых растворителей (Хф → ДМАА → ДМФА → ЦГН → ДХЭ) технологическое качество будет падать при переходе от диметилацетамида к дихлорэтану.

Для получения прядильных растворов в качестве растворителей были выбраны циклогексанон и дихлорэтан, несмотря на то, что по

технологическому качеству они уступают всем другим исследуемым растворам. Так, хлороформ и метиленхлорид не подходят ввиду невысоких температур кипения данных растворителей. Диметилформамид гигроскопичен, поэтому при высокой влажности окружающего воздуха в процессе ЭФВ возможно высаживание полимера вследствие захвата влаги. Соответственно для получения тонких волокон (диаметром менее 1 мкм) в качестве растворителя был выбран циклогексанон, а для получения толстых волокон (диаметром от 1 до 3 мкм) - дихлорэтан.

На ротационном вискозиметре Rheotest-3 при простом сдвиге проводили исследование реологических свойств различных систем полимер – растворитель (рис. 4). Целью данного исследования сводилась к определению поведения выбранных систем полимер – растворитель в условиях действия сдвиговых деформаций. Так как процесс электроформования волокон идет при очень больших значениях сдвиговой деформации, требовалось установить остается ли вязкость системы полимер – растворитель в этих условиях постоянной величиной (т.е. раствор полимера ведет себя как ньютоновская жидкость) или же наблюдается отклонение от закона Ньютона.

На левом графике представлена зависимость напряжения сдвига от градиента скорости для системы полисульфон – дихлорэтан для трех различных значений вязкости раствора полимера. Как видно из графика, в данном диапазоне градиентов скорости и напряжений сдвига не наблюдается аномалии вязкости при данных значениях вязкости системы. Следует отметить, что с увеличением вязкости раствора полимера при одинаковых значениях градиента скорости напряжение сдвига заметно увеличивается. Значение вязкости системы полимер – растворитель соответствует значению угла наклона кривых. Подобные результаты были получены и для системы полисульфон – циклогексанон.

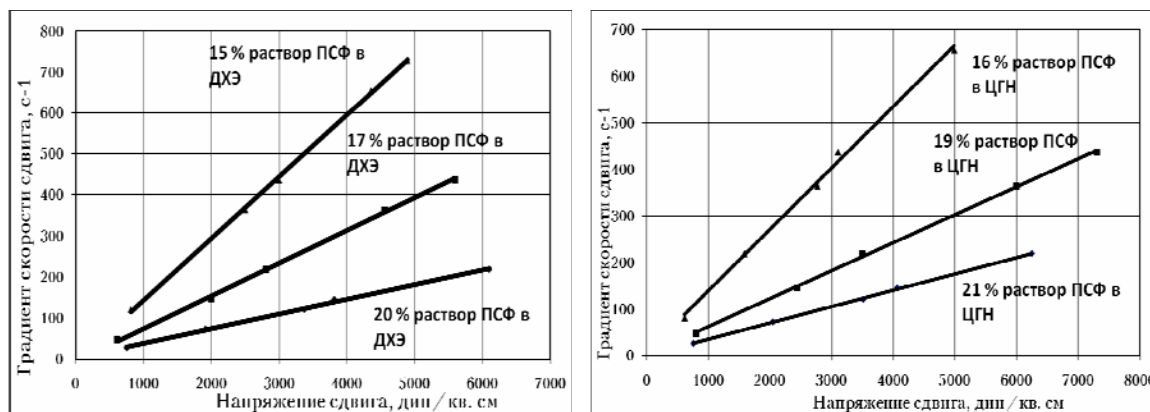


Рис. 4. Кривые течения для системы полисульфон – дихлорэтан и системы полисульфон – циклогексанон.

Конечный диаметр полученного в процессе ЭФВ волокна для конкретной системы полимер - растворитель определяется вязкостью и электропроводностью раствора, его объемным расходом, а также напряжением, подаваемым на капилляр (или напряженностью поля). В исследование использовались две различные системы полимер – растворитель (рис. 5 - 8). Исследование проводилось на лабораторной однокапиллярной установке.

Для получения микроволокон использовали систему полисульфон – дихлорэтан, для которой исследовали одновременное влияние вязкости раствора полимера и его объемного расхода на диаметр волокон при постоянной электропроводности раствора и напряженности поля. Вязкость менялась в диапазоне от 5.4 до 10.3 Пз; объемный расход - в диапазоне от 0.05 до 0.25 см³/мин. При этом поддерживалась постоянная электропроводность раствора $8.8 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и постоянная напряженность поля 2.5 кВ/см. В этом диапазоне параметров диаметр полученных волокон менялся от 3 до 9 мкм. С ростом вязкости и объемного расхода средний оптический диаметр волокон возрастал.

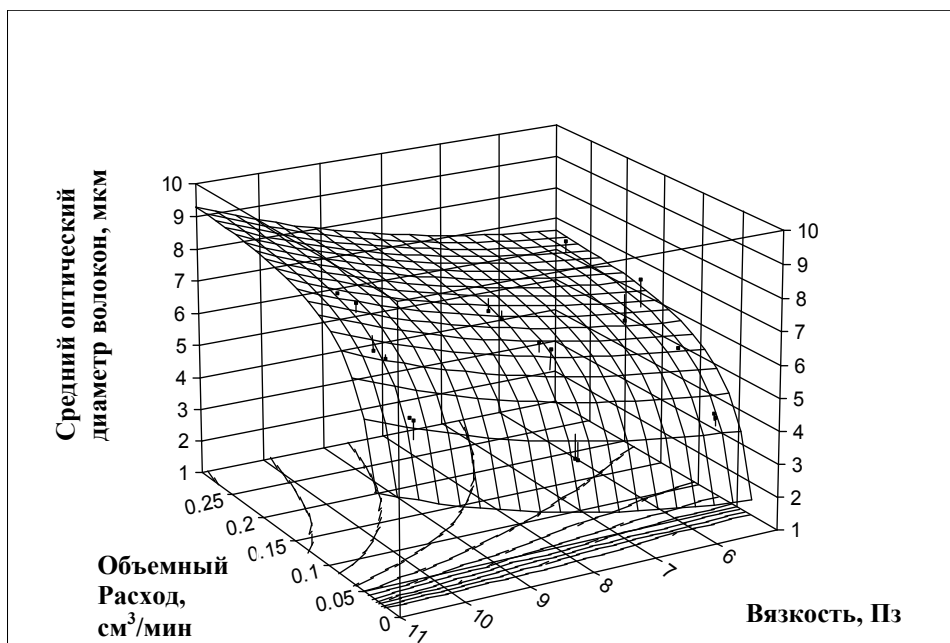


Рис. 5. Влияние вязкости раствора и объемного расхода на диаметр волокон для системы полисульфон – дихлорэтан.

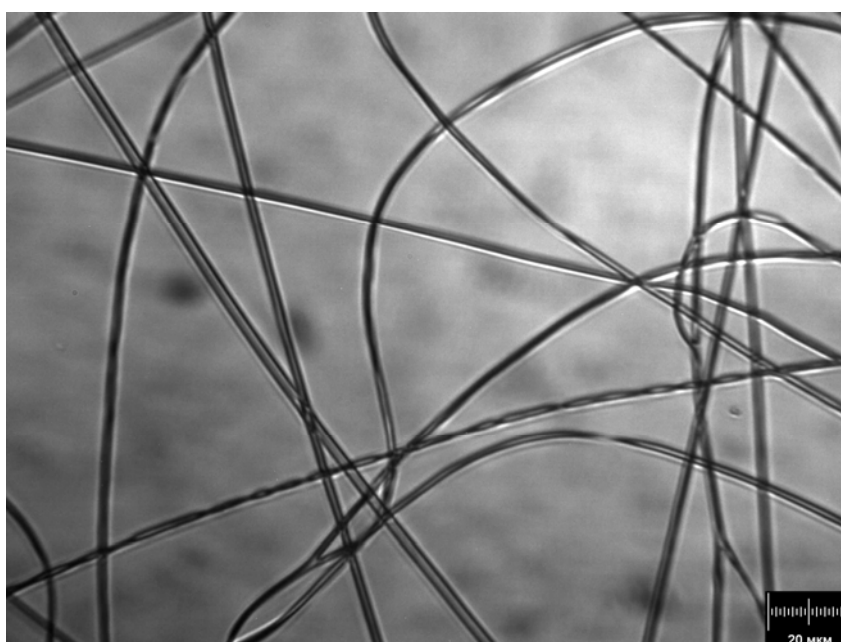


Рис. 6. Оптическая микроскопия микроволокон.

Для получения нановолокон использовали систему полисульфон – циклогексанон, для которой также исследовалось одновременное влияние вязкости раствора полимера и его объемного расхода при постоянной электропроводности раствора и напряженности поля между электродами.

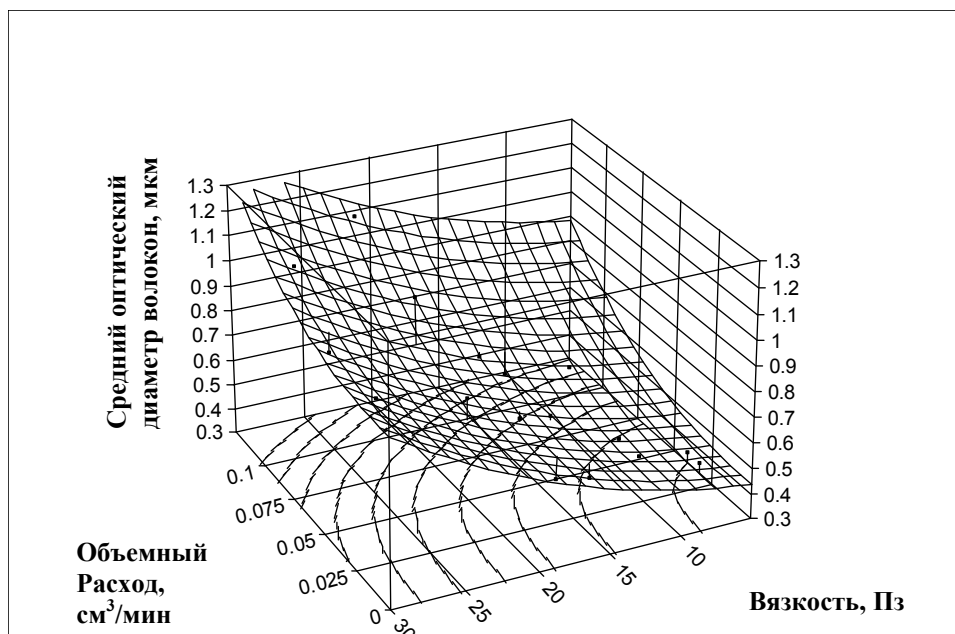


Рис. 7. Влияние вязкости раствора и объемного расхода на диаметр волокон для системы полисульфон – циклогексанон.

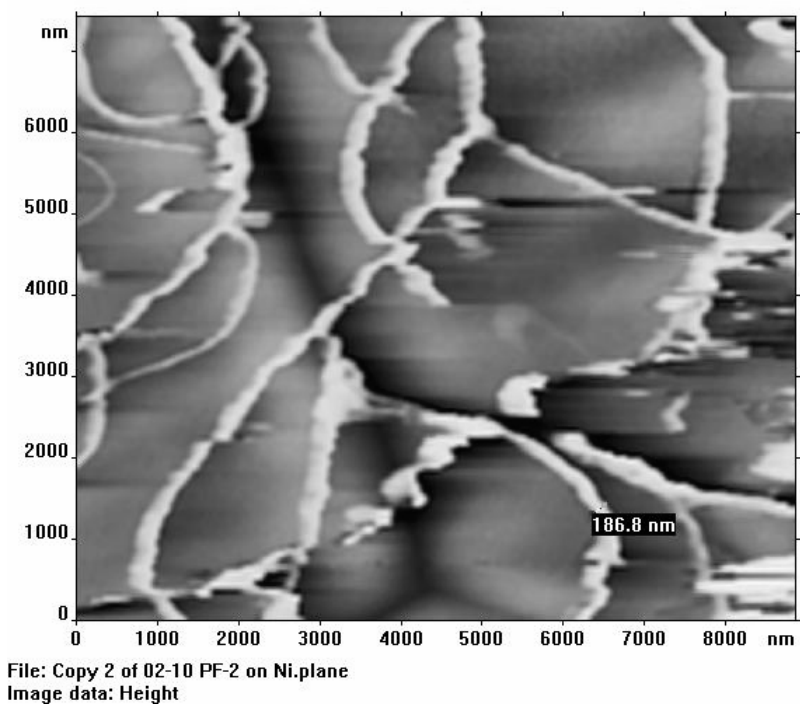


Рис. 8. Атомно-силовая микроскопия нановолокон (сканирующий зондовый микроскоп ФентоСкан; сканирование проводилось в атомно-силовой моде).

Электропроводность раствора полимера поддерживалась на уровне $2.0 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, напряженность поля - на уровне 2.5 кВ/см. Вязкость в условиях эксперимента менялась в диапазоне от 7.6 до 28.0 Пз. Дальнейшее уменьшение вязкости приводило к резкому возрастанию дефектности волокон. Сначала появлялось большое количество дефектов в виде так называемых «груш» и обрывков, а при дальнейшем разбавлении раствора полимера начинался конкурирующий процесс электрораспыления жидкости, и материал терял волокнистую структуру. Объемный расход изменяли от 0.01 до 0.12 см³/мин. В данных условиях эксперимента средний оптический диаметр волокон менялся от 1.1 до 0.4 мкм. При увеличении вязкости раствора и объемного расхода полимера средний оптический диаметр волокон возрастал.

Далее исследовалось влияние электропроводности на средний оптический диаметр волокон с использованием системы полисульфон – дихлорэтан. Раствор полимера имел вязкость 7.7 Пз с электропроводностью $5.3 \cdot 10^{-6}$, $8.8 \cdot 10^{-6}$ и $1.45 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. В качестве прибора, измеряющего сопротивление раствора, использовался измеритель иммитанса E7-15, работающий на переменном токе с частотой 1 кГц. Из графика видно, что с увеличением электропроводности средний оптический диаметр уменьшается (рис. 9). Причем для более вязкого раствора влияние электропроводности сказывается в большей степени.

Уменьшение диаметра волокон с увеличением электропроводности связано с тем, что с ростом электропроводности прядильного раствора всё больший заряд подводится к вновь образующейся поверхности нити и благодаря прохождению тока создается необходимая напряженность, вытягивающая нить в большей степени. Кроме того, в определенном диапазоне увеличения электропроводности при прочих равных условиях наблюдалось значительное сокращение числа дефектов волокон в виде груш и обрывков. Качество волокон улучшалось.

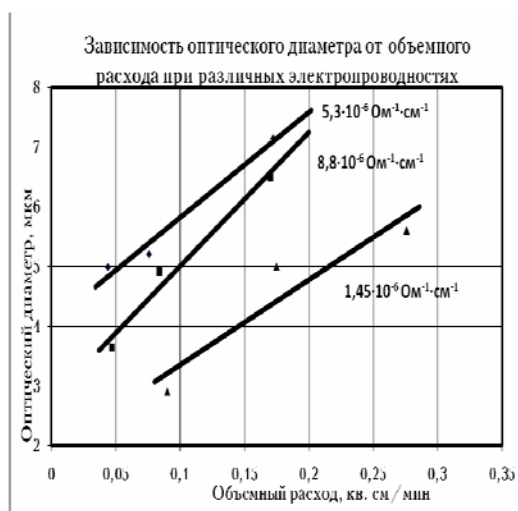


Рис. 9. Зависимость диаметра волокон от объемного расхода при различных электропроводностях для системы полисульфон – дихлорэтан при вязкости 7,7 Пз.



Рис.10. Зависимость диаметра волокна от напряженности поля.

Далее исследовалось влияние напряженности поля между электродами на диаметр волокон для системы полисульфон – дихлорэтан (рис. 10). В эксперименте вязкость и электропроводность раствора, и его объемный расход поддерживались постоянными. Напряженность поля меняли посредством подачи напряжения на капилляр, а также с помощью изменения расстояния между электродами. Как видно из графика, с увеличением напряженности поля диаметр волокон несколько уменьшается. Это связано с тем, что с увеличением напряженности поля нить вытягивается с большей скоростью, и диаметр волокон уменьшается.

После установления зависимости диаметра волокон от параметров процесса электроформования и характеристик систем полимер-растворитель были получены волокнистые материалы с определенным средним диаметром волокон. Их физико-механические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Физико-механические характеристики волокнистых материалов

Материал	Температурное воздействие	Разрывная длина, м
Полисульфон. Диаметр волокон 7 мкм	Не подвергались	340
	140 °С в течение 10 ч	520
	150 °С в течени 10 ч	890
Полисульфон. Диаметр волокон 4 мкм	Не подвергались	410
	140 °С в течение 10 ч	710
	150 °С в течени 10 ч	1320
Полисульфон. Диаметр волокон 0.4 мкм	Не подвергались	350
	140 °С в течение 10 ч	440
	150 °С в течение 10 ч	480

Меньшую прочность материала, состоящего из волокон диаметром 7 мкм, по сравнению с волокнами диаметром 4 мкм можно объяснить тем, что при увеличении диаметра прочность нетканого материала уменьшается из-за уменьшения числа «склеек», которая не компенсируется увеличением их прочности. Для материала, состоящего из тонких волокон (0.4 мкм), во всех случаях был отмечен разрыв без «растаскивания». При этом для материалов, подвергшихся тепловой обработке, прочность и относительное удлинение выше, чем для материала, без тепловой обработки. Меньшую прочность образцов, изготовленных из материала, состоящего из тонких волокон, можно объяснить большим влиянием дефектов отдельных волокон на прочность материала.

Далее исследовались фильтрующие свойства полученных волокнистых материалов. Исследование проводилось на лазерном аэрозольном счетчике ЛАС-007 по частицам атмосферного аэрозоля.

Исследовались фильтрующие свойства материалов, состоящих из тонких волокон (средний оптический диаметр 0.4 мкм) и толстых волокон (средний оптический диаметр 4 и 7 мкм), не подвергавшиеся тепловой обработке, а также материалы, выдержанные при 140 °С в течение 10 ч, и материалы, выдержанные при 150 °С, также в течение 10 ч (рис. 11).

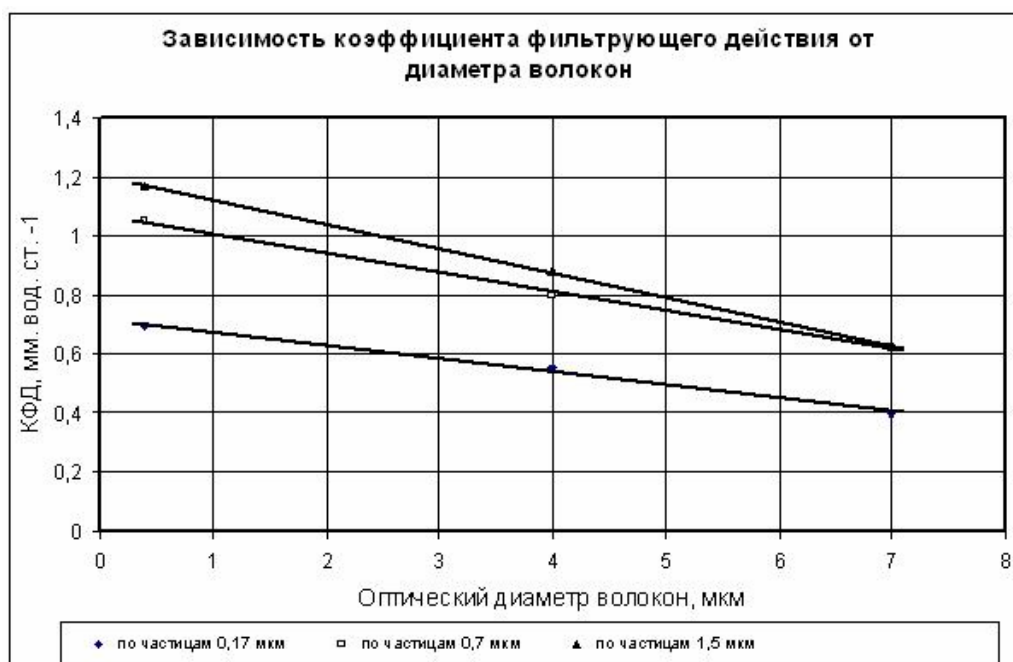


Рис. 11. Зависимость коэффициента фильтрующего действия от диаметра волокон для материалов, выдержанных в течение 10 ч при 150 °С.

Как видно из графика, коэффициент фильтрующего действия уменьшался с увеличением диаметра волокон в указанном диапазоне диаметров частиц атмосферного аэрозоля. Это хорошо согласуется с теорией фильтрации [3].

Был разработан новый фильтрующий материал из полисульфона [4], коэффициент фильтрующего действия которого значительно превосходил показатели отечественных и зарубежных стекловолнистых фильтрующих материалов. В табл. 2 приведены данные для разряженного материала.

Таблица 2.

Основные фильтрующие и механические характеристики материалов

Материал и производитель	Сопротивление, Па	Коэффициент проскока, %	Разрывная длина, м	Удлинение, %	Коэффициент фильтрующего действия, мм. вод. ст. ⁻¹
СВМ, Hollingsworth	55.0	0.0022	547.0	3.3	0.85
СВМ, Красное село	34.0	1.16	452.0	4.7	0.57
МВЭФ-3. г. Волжск	53.0	0.10	>634.0	2.7	0.57
ФПСФ из полисульфона	36.0	<0.001	260.0	50	1.2

Выводы

1. Показано, что, наиболее перспективным для разработки термостойкого материала является полисульфон.

2. Исследованы реологические свойства прядильных растворов полисульфона и полифениленсульфона на основе различных растворителей (дихлорэтан, циклогексанон, N,N'-диметилформамид и др.) и проведен анализ технологического качества исследованных растворителей.

3. Обоснован выбор растворителей для приготовления прядильных растворов на основе полисульфона. Разработаны системы полимер – растворитель для создания фильтрующих материалов, состоящих из тонких волокон, а также из толстых волокон.

4. Исследовано влияние параметров процесса электроформования волокон и характеристик прядильного раствора на диаметр полученных волокон. Установлено, что с увеличением вязкости прядильного раствора или его объемного расхода диаметр волокон увеличивается. Диаметр волокон уменьшается с увеличением электропроводности прядильного раствора или напряженности поля.

5. Исследованы физико-механические свойства волокнистых фильтрующих материалов, полученных из прядильных растворов полисульфона методом ЭФВ. Показано влияние температуры на величины разрывной нагрузки, разрывной длины, относительного удлинения для материалов, состоящих из волокон различного диаметра (0.4; 4 и 7 мкм). Установлено, что разрывная длина увеличивается после выдержки материалов при высокой температуре, в то время как относительное удлинение уменьшается.

6. Исследованы фильтрующие свойства стекловолокнистых материалов и материалов, состоящих из волокон полисульфона различного диаметра (0.4; 4 и 7 мкм). Показано, что новый фильтрующий материал из

полисульфона значительно превосходит стекловолоконистые по коэффициенту фильтрующего действия.

Литература

1. НП-036-02: Правила устройства и эксплуатации систем вентиляции, важных для безопасности атомных станций, Москва, 2002 г.
2. Ю.Н. Филатов. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). - М.: Нефть и газ, 1997 г.
3. П.И. Басманов, В.Н. Кириченко, Ю.Н. Филатов, Ю.Л. Юров. Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. Монография. М.: Наука, 2003 г.
4. Патент РФ № 2270714. Фильтрующий материал, фильтр для очистки газов от аэрозолей и способ получения фильтрующего материала / Ю.Н. Филатов, А.К. Будыка, Л.А. Ломазова / Бюлл. изобр. (2006), № 6.

СТРУКТУРНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ФП

Дружинин Э.А.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

Отмечая столетний юбилей со дня рождения выдающегося учёного и общественного деятеля Игоря Васильевича Петрянова-Соколова, необходимо особо отметить: его заслуга состоит не только в том, что первым научно обосновал получение ультратонких полимерных волокон способом электростатического формования, разработал процесс и реализовал его в промышленном масштабе, но и явился родоначальником нового класса так называемых “нетканых материалов” из полимерных волокон, которые нашли широкое применение для высокоэффективной очистки воздуха и газов.

Результатом замечательного сочетания научной мысли и её технического воплощения стало создание И.В. Петряновым первого волокнообразующего элемента для формования ультратонких волокон, системы защиты элемента с помощью паровоздушной обдувки, подаваемой на дозирующий капилляр, и разработка подвижного поезда с вращающимися осадительными электродами-барабанами. Эти технические решения предопределили приоритет И.В. Петрянова в создании удивительного по своим возможностям процесса, и которые до настоящего времени являются основой промышленной технологии. Именно эти технические решения, базирующиеся на глубоком понимании И.В. Петряновым физико-химических основ электростатического способа формования волокон, оказались недоступными многим зарубежным исследователям, работавшим в этой области.

Среди этих новаций особое место в технологии процесса занимает разработанный И.В. Петряновым способ осаждения заряженных волокон на электрод в виде барабана, в котором совмещены два вида движения – вращательное и поступательное относительно неподвижных волокнообразующих элементов. Другие исследователи предусматривали осаждение волокон на подвижном плоском электроде, выполненном в виде транспортёрной ленты или в виде струны (системы струн) лишь с целью создания условий переработки получаемых волокон в кручёную текстильную нить. Барабанная технология И.В. Петрянова была сразу же ориентирована на получение исключительно равномерных по своим макрофизическим свойствам отдельных полотен, которые в завершённом виде использовались в качестве нового высокоэффективного фильтрующего материала.

Барабанный способ производства фильтрующих материалов создал условия для формирования материалов ФП с различными размерами волокон, структура которых образована системой волокон, размещённых в площади слоя в двумерном беспорядке. Дальнейшая модернизация барабанного способа, выполненная сотрудниками школы И.В. Петрянова, позволила разработать приёмы для создания сложных структур из волокон различного радиуса от 0.15 до 3 мкм. Волокна различных размеров и сочетаний их длин в слое могут быть размещены в любом заданном состоянии: в виде послойной композиции, в виде равномерной смеси, а также в сочетании смеси волокон и их послойной укладки. Создаётся единая структурная композиция из слоёв, выполняющих вспомогательную функцию, и основного функционального слоя, структура которого также определяется заранее заданными свойствами. В этом случае вспомогательные структурные слои создают оптимальные условия для формирования и размещения основного функционального слоя, структура которого также определяется заранее заданными требованиями. Эти

барабаны уже не вращаются. Это позволяет снимать готовые полотна материала ФП и подготавливать поверхность барабана к новому циклу нанесения волокнистого слоя: намотку тканевой /марлевой/ подложки или очистку металлической поверхности барабана от оставшихся после отделения обрывков волокон. В третьей зоне тележки с барабанами возвращаются к входу конвейера для возобновления нового цикла нанесения волокон. Она расположена с одной из сторон короба конвейера.

Поступательное движение поезда тележек с барабанами внутри короба вдоль двух расположенных на противоположных сторонах волокнообразующих элементов осуществляется механизмом подачи тележек, который с помощью короткой цепной передачи и специальных захватов принудительно направляет их в короб. Устанавливается плавное равномерное поступательное движение поезда с регулируемой скоростью от 12 до 100 м/ч.

Вращение барабанов в конвейере производится другой цепной передачей, расположенной с одной стороны от тележек с барабанами в жёлобе по всей длине короба конвейера. Регулируемая скорость вращения барабанов в пределах от 0.5 до 1.5 об./с (преимущественно 1 об./с).

Существо проведённой модернизации барабанной технологии состоит в создании такой системы распределения двух различных по свойствам технологических растворов, которая допускала возможность подачи любого из них на любую гребенку. Дозирование технологических растворов осуществлялось шестеренчатыми насосами, которые с помощью вариатора и электромотора позволяли изменять объёмный расход раствора (подачу) через дозирующие капилляры в довольно широких пределах. Для повышения равномерности полотен материала ФП по массе волокон и по аэродинамическому сопротивлению, колебания которых возникали при поступательном движении поезда барабанов, механизмы подачи тележек были объединены гибкой связью с вариаторами шестеренчатых насосов.

Такая связь позволяла удобнее управлять работой конвейера и обеспечивала колебания массы волокон на полотнах в пределах 0.2 г/м^2 . Усовершенствования позволяли не только более точно поддерживать заданные размеры волокон, но и соотношение их длин в той или иной структуре материала ФП. Выполнение жестких условий формирования заданной структуры невозможно при осаждении волокон на плоском электроде, даже сообщая колебательное движение волокнообразующим элементам. Важное значение в барабанном способе формирования различных структур имеет правильное по длине конвейера размещение гребёнок, формирующих волокна определённого размера, таким образом, чтобы их получение из различных растворов максимально соответствовало высоковольтному потенциалу, подаваемому на все гребенки конвейера.

В качестве примера на рис. 2 приведена схема размещения гребёнок с волокнообразующими элементами в конвейере при получении одно- или многокомпонентных материалов ФП без тканевых подложек и на «подложке-основе».

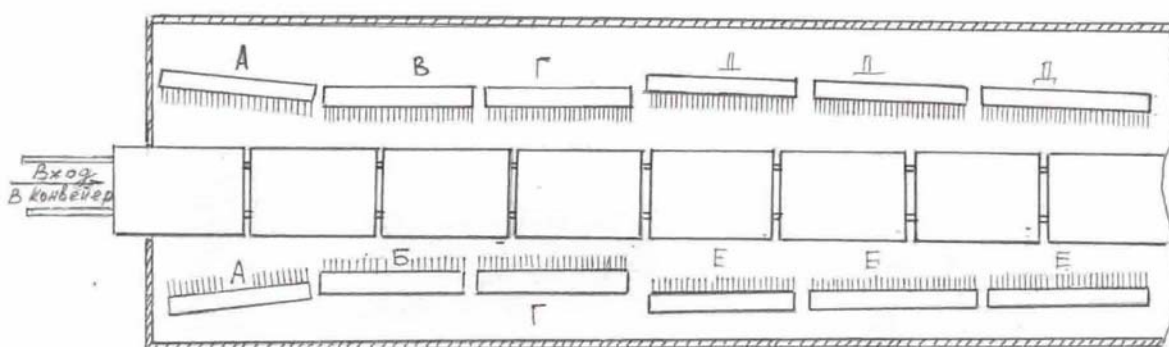


Рис. 2. Схема размещения волоконобразующих элементов в конвейере.
 А – элементы «буферного подслоя», Б – «жидкие волокна» подложки-основы,
 В – элементы выравнивающего слоя, Д – элементы толстых волокон основного
 фильтрующего слоя, Е - элементы ультратонких волокон основного слоя.

В соответствии с технологией получения материалов ФП на “подложке-основе” и надёжного съёма всего полотна материала общей площадью около 1 м^2 с осадительного барабана предварительно на металлическую поверхность последнего должен быть нанесён так называемый “буферный подслоя” из малопрочных волокон. В дальнейшем на этот подслоя наносят волокна “подложки-основы”. В процессе отделения заряженного полотна материала ФП волокна “буферного подслоя” выполняют роль жертвенного слоя, разрушаемого при съёме, но который защищает всё полотно от склеивания его с поверхностью барабана при попадании на полотно крупных капель раствора. Оптимальная масса волокон подслоя находится в пределах $0.12 - 0.15 \text{ мг/см}^2$.

Технология получения прочной “подложки-основы” с оптимальным удлинением требует осаждения в виде равномерной смеси двух видов волокон, из которых при осаждении еще не полностью испарился растворитель и которые благодаря этому склеиваются друг с другом в местах их взаимного контакта, и волокон, в которых удалён растворитель полностью (“сухих” волокон). Важным в этом случае оказался правильный выбор соотношения длин таких волокон, от которого зависит не только удлинение “подложки-основы” при разрыве, но и возможность уменьшения аэродинамического сопротивления.

Как видно из изложенного выше, условия технологии определяют пористость волокнистой структуры и соотношение количества волоконобразующих элементов, формирующих те или иные волокна. Воспроизвести аналогичную структуру, при которой также необходимо учитывать определенный размер межэлектродного промежутка между дозирующими капиллярами и поверхностью осаждения волокон на ленточной или рулонной установке, даже при колебательном движении волоконобразующих элементов, не представляется возможным. На рис. 3 представлена схема структуры слоя “подложки-основы” и

функционального слоя материала типа ФПП-Д-1 без указания “буферного подслоя”, который фактически остаётся на барабане. Как показано на рис. 2 и 3. при получении этих материалов совмещены приёмы послойного осаждения волокон “буферного подслоя” и волокон “подложки-основы”, структура которой образована смесью волокон различного качества и размера. Общее количество и соотношение волоконобразующих элементов для каждой категории волокон зависит от скорости движения поезда конвейера и норм технических показателей конкретной марки материала ФП. Аналогичное распределение гребёнок в коробе конвейера сохраняется при получении аналитических фильтрующих материалов типа НЭЛ-3 и НЭЛ-4. Отличительные свойства такой структуры – повышенная прочность слоя при разрыве, сравнительно низкое аэродинамическое сопротивление, способность к гофрировке и неворсистость - создаются за счёт проклейки волокон друг с другом и выбором определённого соотношения радиусов грубых и более тонких в соотношении их длин 1:5.

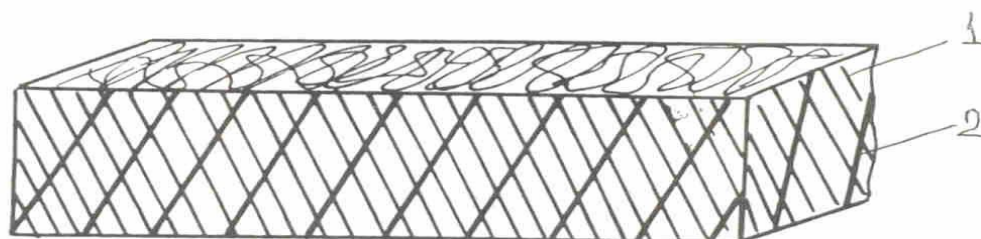


Рис. 3. Структура «подложки-основы» и функционального слоя материала ФПП-Д-1.
1 – тонкие волокна, 2 – толстые волокна.

Примером создания более сложных структурных композиций могут служить структуры материалов ФПП-ВЭС и материала ФПП-3/20-3.0.

Отработка промышленной технологии формования ультратонких волокон радиусом 0.15 мкм потребовала создания специальных условий для их практического применения в конкретных случаях. Из-за низкой

прочности таких волокон исключается возможность их использования без применения специальных мер защиты. Известным приёмом является смешение ультратонких и волокон большего размера в количестве или в соотношении длин разнородных волокон, которые удовлетворяют требованиям не только увеличения физико-механических показателей смеси, но и максимального повышения фильтрующих показателей или других необходимых свойств.

Основным условием высоких фильтрующих показателей ультратонких волокон является требование высокой равномерности и однородности поверхности той основы или подложки, на которой формируется слой, содержащий ультратонкие волокна. Проявляющаяся на слое ультратонких волокон сетка от подложек из ткани или грубых волокон, которую называют “позитивная реплика” (преимущественное осаждение волокон на узлах или переплетениях нитей ткани), приводит к резкому снижению фильтрующих характеристик. Идеальной в этом случае является полированная поверхность осадительного устройства. Это условие характерно не только для метода электростатического формирования волокон ФП, но и для сухого или мокрого способов осаждения стеклянных волокон радиусом менее 0.5 мкм на дренажной сетке даже в смеси с более грубыми волокнами. Влияние фактуры поверхности подложки несколько сглаживается с увеличением аэродинамической толщины слоя, но всё равно остаётся существенной и снижает показатель качества фильтрующего материала, т.е. коэффициента фильтрующего действия $\alpha = -\lg K/\Delta P_1$, где K – коэффициент проскока, ΔP_1 – стандартное аэродинамическое сопротивление слоя при скорости потока воздуха 1 см/с.

Другая особенность слоёв из ультратонких волокон в смеси с более грубыми состоит в том, что α смеси волокон различного размера всегда больше, чем этот показатель, измеряемый у слоёв, полученных при послойном размещении волокон такого же размера и длины.

Исследованиями моделей материалов ФП с различными размерами и соотношениями длин волокон установлено, что α таких двухкомпонентных структур имеет максимальное значение при соотношении радиусов толстых и тонких волокон равном 6 и при соотношении длины тонких волокон к длине толстых в пределах 15 - 20. Это связано с проявлением так называемого “дефекта сопротивления” смеси волокон, когда измеряемое сопротивление двухкомпонентной структуры соответствует минимальному значению, т.е. когда максимум “дефекта сопротивления” совпадает с максимумом коэффициента α .

Эти особенности ультратонких волокон радиусом менее 0.25 мкм учтены при разработке высокоэффективного фильтрующего материала ФПП-ВЭС. Основной функциональный слой этого материала создаётся ультратонкими волокнами радиусом 0.15 мкм в смеси с волокнами радиусом 1 мкм при соотношении их длин в слое около 20. Минимальное влияние “негативной реплики” получено, когда этот двухкомпонентный слой размещается на прочной “подложке-основе” из проклеенных между собой волокон радиусом около 1.7 мкм. В свою очередь функциональный слой прикрыт защитным слоем из волокон радиусом также 1.7 мкм, выполняющих роль предфильтра и защищающего основной слой от массовой нагрузки частиц большого размера. Этот приём повышает пылеемкость материала ФПП-ВЭС и, тем самым, удлиняет срок эксплуатации всего фильтра. На рис. 4 представлена фактическая система из смеси таких волокон, регистрируемая растровым электронным микроскопом при увеличении 5000.

Стандартное аэродинамическое сопротивление одного слоя материала ФПП-ВЭС составляет 2.5 мм вод. ст. это позволяет собирать фильтры ЛАИК с одним, двумя или тремя слоями в зависимости от требуемой эффективности конечного изделия. В табл. 1 представлены данные по эффективности фильтрации стандартного масляного тумана с частицами

радиусом 0.13 - 0.17 мкм одного слоя материала ФПП-ВЭС в сравнении с эффективностью стандартного материала ФПП-15-1.7. Измерить эффективность двух слоёв материала ФПП-ВЭС даже в разряженном состоянии современными методами не представляется возможным. Как видно из табл. 1. такими высокими фильтрующими характеристиками не обладает ни один из известных фильтрующих материалов из ультратонких стеклянных волокон, аэродинамическое сопротивление которых практически составляет величину 7.6 – 8 мм вод. ст.

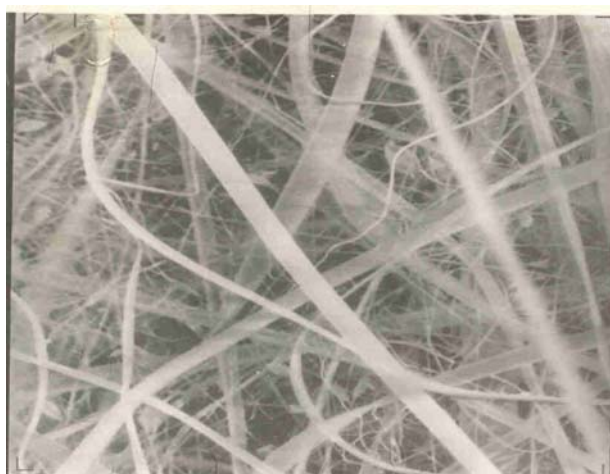


Рис. 4. Вид смеси толстых и ультратонких волокон в растровом микроскопе.
Увеличено в 5000 раз.

Структура материала ФПП-ВЭС создавалась независимо от свойств исходного полимера. Возможность воспроизведения аналогичной структуры ограничивается лишь совокупностью свойств этого полимера, которая должна быть повышенной по сравнению со свойствами перхлорвинила. К таким полимерам можно отнести полисульфон, термостойкость ультратонких волокон из которого более чем в два раза больше, чем волокон из перхлорвинила.

Таблица 1.

Эффективность фильтрации разряженных материалов ФП

Скорость фильтрации, см/с	Измеряемые показатели слоя ФПП-ВЭС			Коэффициент α материала ФПП-15-1.7
	Сопротивление, ΔP_1 , мм вод. ст.	Коэффициент α	Эффективность, %	
1	2.13	2.08	99.9963	0.85
2	2.25	1.68	99.984	0.75
4	2.22	1.49	99.95	0.66
10	2.4	1.12	99.8	0.41
20	2.36	1.09	99.73	0.34
40	2.24	1.29	99.87	0.36
100	2.34	1.27	99.9	0.45
200	2.32	1.56	99.97	0.72

Другим примером целенаправленного конструирования оптимальной структуры является разработка технологии получения материала ФПП-3/20-3.0. созданного для целей фильтрации высокодисперсных гидрозолей, особенно для очистки жидких технологических сред в процессах микроэлектроники. За основу была использована структура основного функционального слоя материала ФПП-ВЭС. Однако при прессовании этого слоя из-за различных дефектах “подложки-основы”, которые не проявляются при малой плотности упаковки волокон, не достигалось заметное повышение тонкости фильтрации гидрозолей. Структурные изменения материала ФПП-3/20-3.0 по сравнению с материалом ФПП-ВЭС состоят в том, что функциональный фильтрующий слой отделен от “подложки-основы” промежуточным выравнивающим слоем из монодисперсных волокон радиусом 0.5 мкм и массой единицы поверхности 1.0 - 1.3 мг/см². Необходимость в прекрывающем защитном слое из волокон радиусом 1.7 мкм отпадала, поскольку гидрозольный фильтр изготавливался преимущественно из двух прессованных слоёв

исходного материала с аэродинамическим сопротивлением около 3 мм вод. ст. В табл. 2 представлены при фильтрации суспензий с частицами различных размеров.

Таблица 2.

Характеристики материала ФПП-3/20-3.0

Размер частиц латекса, мкм	Коэффициент проскока, %	
	Исходный материал	Прессованный при давлении 100 атм/см ²
0.26	5	0
0.225	15	0
0.155	11	8,4
0.115	49	15

Фильтры из материала ФПП-3/20-3.0 отличаются от других гидрозольных фильтров, например фирмы “Millipore” с равной тонкостью фильтрации, более чем вдвое большей протеканием и высоким ресурсом работы. Однако повысить тонкость фильтрации гидрозольных фильтров из ультратонких волокон ФП без существенных конструктивных изменений конвейера не представляется возможным.

Материал ФПП-3/20-3.0 обладает также очень высокими фильтрующими характеристиками при улавливании аэрозолей. В табл. 3 представлены показатели этого материала по стандартному масляному туману с частицами 0.13 - 0.17 мкм.

Таблица 3.

Характеристики материала ФПП-3/20-3.0

Скорость фильтрации, см/с	ΔP_1 , мм вод. ст.	Образец заряженный		Образец разряженный	
		Коэффициент проскока	Коэффициента	Коэффициент проскока	Коэффициент α
1	2.74	$2 \cdot 10^{-7}$	2.5	$8 \cdot 10^{-5}$	1.5
1	2.76	$2 \cdot 10^{-7}$	2.5	$4,2 \cdot 10^{-5}$	1.59
1	2.95	-,	2.5	$1.5 \cdot 10^{-5}$	1.63
1	3.2	-,	2.5	$1.0 \cdot 10^{-5}$	1.56
2	2.8	$2 \cdot 10^{-7}$	2.5	$1.3 \cdot 10^{-5}$	1.48

В заключении следует отметить, что, используя различные сочетания размеров волокон, их длин, а также порядок их размещения в слое, можно в широких пределах варьировать свойствами конечного изделия, успешно решать конкретные задачи не только в области фильтрации, но и для других специальных целей, например, при создании шумопоглощающего материала или материала для теплоизоляции.

Секция 2

СРЕДСТВА, МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ АЭРОДИСПЕРСНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ СИСТЕМ

ДИФФУЗИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ НАНОЧАСТИЦ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ

Загайнов В.А., Бирюков Ю.Г., Лушников А.А.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

1. Введение

При исследовании как в лабораторных, так и в атмосферных условиях дисперсной системы в газовой фазе и определения распределения по размерам частиц, из которых она состоит, необходим прибор для измерения спектра размеров наночастиц. Актуальность этой проблемы не подлежит сомнению. Поскольку не существует универсального прибора для измерения распределения по размерам частиц в диапазоне от долей нанометров до сотен микрометров, то приходится, в зависимости от условий измерений, выбирать конкретный прибор из существующей аппаратуры.

Имеются приборы, использующие различные физические и химические принципы для исследования свойств аэрозольной системы. Некоторые из них выпускаются серийно, например, приборы фирм TSI или GIV, другие существуют в единственных экземплярах, будучи изготовлены под определенные исследования.

Основой регистрации и исследования наночастиц или высокодисперсных аэрозолей является их способность:

- взаимодействовать с электромагнитным излучением (в частности, в видимом диапазоне);
- нести на себе электрический заряд;
- расти в условиях перенасыщения паров;
- диффундировать в газе-носителе;
- осаждаться в поле сил гравитации.

На практике нашли применение несколько типов приборов для определения спектра размеров, в которых используются свойства самих наночастиц или аэрозолей.

- Анализаторы электрической подвижности (первого и второго рода [1 - 3]). В этих приборах используется размерная зависимость подвижности заряженных аэрозольных частиц в электрических полях от отношения заряда к массе. К недостаткам метода можно отнести неопределенность, связанную с эффективностью зарядки, а также неоднозначность решения обратной задачи. Кроме этого, в процессе зарядки образуются наночастицы, которые искажают спектр размеров исследуемых высокодисперсных частиц.

- Оптические спектрометры. Они используют характеристики взаимодействия излучения (главным образом в видимом диапазоне) с аэрозольными частицами [4 - 6]. По зависимости этих характеристик от размеров частиц восстанавливается спектр размеров частиц. С помощью этих приборов исследуются частицы, размер которых сопоставим с длиной волны света, поэтому этими приборами измеряются частицы размером в доли микрометра. Для измерения наночастиц потребовалось бы слишком жесткое излучение.

- Диффузионные спектрометры. Определяют диффузионную подвижность в газе [7 - 10]. Она зависит от размеров частиц, что позволяет по измеренному распределению коэффициентов диффузии определить распределение частиц по размерам.

- Импакторы. Эти приборы используют инертность частиц. При невысоком вакууме можно измерять размеры частиц в интервале от десятков до десятых долей микрометра.

- Масс-спектрометры. Достаточно хорошо могут промерить диапазон размеров наночастиц, но слишком громоздки и требуют высокого вакуума.

Сравнительно недавно появился новый тип прибора, в котором сочетаются преимущества диффузионного спектрометра с анализатором подвижности [11]. В нем используются диффузионные батареи сетчатого типа, но частицы, перед тем как пройти сквозь сетки, подвергаются зарядке, например, при помощи коронного разряда. На эти частицы при прохождении их сквозь металлические сеточки действуют зеркальные электрические силы, что приводит к повышенному осаждению частиц на сеточках. Расчет этого эффекта можно найти в работе А. Кирша [11]. К недостаткам метода можно отнести: 1) неоднозначную эффективность зарядки, 2) сложность одновременного учета нескольких механизмов осаждения, 3) в коронном разряде образуются наночастицы, которые смешиваются с исследуемыми. Основное преимущество метода - существенное расширение диапазона размеров частиц, исследуемых этим методом.

К перспективным следует отнести устройства, в которых используется сочетание различных физических и химических эффектов. Например, диффузионный спектрометр, в котором имеются диффузионные батареи сетчатого типа, а также производится анализ роста ядер конденсации самого малого размера (на пороге чувствительности), эффективность укрупнения которых может быть существенно ниже 1 [12]. Такие частицы возникают при так называемых всплесках нуклеации [13], которые были замечены ранее, но особенно пристальное внимание стали привлекать сравнительно недавно, с появлением техники, пригодной для их детального изучения.

Идея этого метода основана на том, что окончательный размер частиц, которые выросли в перенасыщенных парах, может зависеть от их начального размера, если он меньше, например, 10 нм. При этом, по-видимому, имеется еще и зависимость как от химического состава растущей частицы, так и от термодинамических свойств паров, которые

укрупняют эту частицу. Кроме того, в этом диапазоне размеров начинает существенно сказываться эффект Кельвина - зависимость давления насыщающих паров от кривизны поверхности, на которую молекулы этих паров осаждаются. Следует признать, что все эти расчеты носят оценочный характер. Поэтому, корректность измерений зависит от экспериментальной калибровки. Но для нее необходимы эталонные аэрозольные частицы и эталонные приборы. Обычно предполагается, что анализатор электрической подвижности может создать такие эталонные частицы, и сам он достаточно хорошо работает в этом диапазоне размеров. В то же время, как было указано ранее, и этот анализатор обладает некоторой неопределенностью при выделении моодисперсной моды в этом диапазоне размеров. Тем не менее, такой подход следует считать очень перспективным - спектр размеров укрупненного аэрозоля очень информативен, и эту информацию следует учитывать и использовать при решении обратной задачи — найти правильные пути сочетания этой информации с проскоками через диффузионные батареи.

Безусловно, перечисленные принципы действия и типы приборов не исчерпывают имеющихся, однако, к настоящему времени именно их можно отнести к признанным и, очевидно, перспективным. Хотя это и не означает, что приборы, оставшиеся за рамками перечисленных, не перспективны.

Рассмотрим диффузионный аэрозольный спектрометр, нашедший широкое применение в аэрозольной практике, и который можно считать перспективным на ближайшее будущее [10].

2. Диффузионный аэрозольный спектрометр

2.1. Устройство прибора

Диффузионный аэрозольный спектрометр представляет собой гибкую измерительную систему, предназначенную для определения спектра

размеров наночастиц в широком диапазоне. Гибкость схемы необходима для адаптации к различным режимам измерения: в лабораторных условиях, в свободной атмосфере и т.п.

Эта измерительная система включает в себя три основных элемента:

1) диффузионные батареи с конденсационным укрупнителем. В настоящее время используются диффузионные батареи сетчатого типа (screen type battery). Для повышения чувствительности прибора используется двухступенчатая схема укрупнения частиц;

2) лазерный аэрозольный спектрометр с внутриврезонаторной (лазерной) схемой регистрации. Может применяться автономно для измерения спектра размеров субмикронных аэрозольных частиц;

3) компьютер для контроля, управления, сбора, обработки и хранения измеренных данных.

Схема установки изображена на рис. 1.

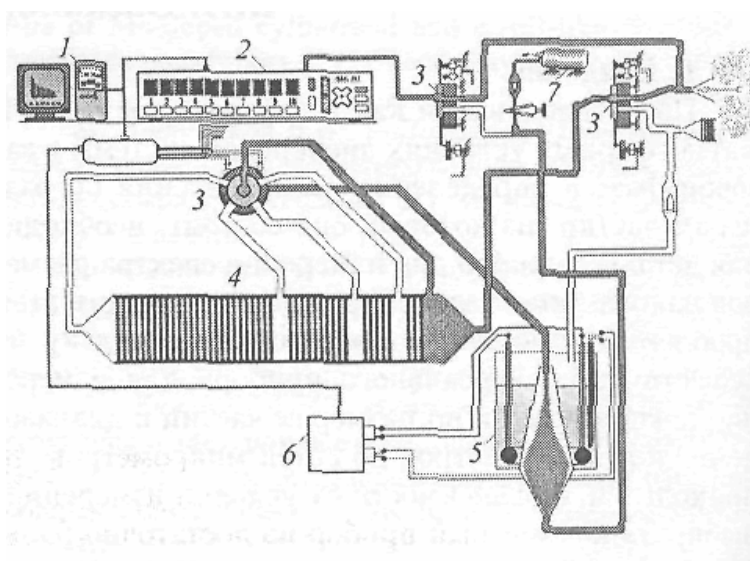


Рис. 1. Схема диффузионного аэрозольногоспектрометра (ДАС).

1 - компьютер, 2 – лазерный аэрозольный спектрометр (ЛАС),
3 – переключатели газовых потоков, 4 - диффузионные батареи (ДБ),
5 - конденсационный укрупнитель частиц (КУСТ), 6 – терморегуляторы, 7 – насос.

Рассмотрим работу системы. Исследуемый газовый поток, содержащий наночастицы, поступает на вход спектрометра. В зависимости

от режима, поток проходит через: 1) диффузионные батареи для исследования спектра размеров, 2) аэрозольный фильтр для калибровки и установления режима, обеспечивающего оптимальное укрупнение ядер конденсации, 3) лазерный аэрозольный спектрометр для определения размеров субмикронных аэрозолей.

Диффузионные батареи сетчатого типа представляют собой цилиндрические каналы, в поперечном сечении которых находится ряд сеток (от 1 до 40). На них происходит осаждение частиц, поскольку они, обладая диффузионной подвижностью, отклоняются от линий тока газа и достигают поверхности сеток. При этом, чем выше подвижность, тем большая доля частиц остается на диффузионных батареях.

Аэрозольный фильтр - конденсационный укрупнитель — состоит из двух каскадов. В первом ядра конденсации укрупняются от минимальных размеров до 30 нм, во втором происходит их рост до оптически активных размеров, когда они могут быть проанализированы оптическим спектрометром.

Такая схема укрупнения позволяет:

- достичь максимальной чувствительности;
- произвольно варьировать конечный размер укрупненных частиц в зависимости от чувствительности оптического спектрометра;
- минимизировать количество частиц, находящихся вблизи границы чувствительности оптического спектрометра.

Эта схема укрупнения может быть использована для создания многоканальной системы, что может существенно повысить точность измерения. После укрупнителей поток охлаждается, частицы достигают своих конечных размеров и готовы для анализа оптическим спектрометром. В настоящей схеме применяется лазерный аэрозольный спектрометр особенность, которого состоит в том, что чувствительный объем прибора расположен в резонаторе лазера [4, 5]. Это позволяет

увеличить интенсивность падающего (и рассеянного) излучения и обеспечить однородность светового потока в зоне регистрации частиц.

Это дает возможность избежать дополнительных погрешностей, связанных с неоднородным освещением чувствительного объема. Дело в том, что в рассматриваемой схеме толщина струи, содержащей частицы, меньше толщины светового луча. Таким образом, струю можно расположить в той области луча, где обеспечивается максимальная однородность освещения. Лазерный аэрозольный спектрометр спроектирован так, что может использоваться как автономно - для определения спектра размеров частиц с размером от 0.2 до 2-3 мкм, так и в составе диффузионного спектрометра - для фиксации проскоков через диффузионные батареи.

В состав схемы входит компьютер, который обеспечивает:

- управление системой в целом — переключение газоздушных потоков с аэрозолями,
- контроль над температурой укрупнителей,
- предварительную обработку получаемых данных,
- создание и хранение банка данных,
- дополнительную обработку данных, получение распределений по размерам аэрозольных частиц, а также других характеристик, которые необходимы по ходу выполнения работы.

2.2. Работа диффузионного спектрометра

Как показал опыт использования этого спектрометра [11 - 16], предложенная схема оптимальна, достаточно гибка для применения в самых различных ситуациях как для лабораторных, так и для натурных измерений, дает достаточно корректные и надежные результаты. В этом можно было убедиться во время проведения Международного colloквиума в июне - июле 1993 г. в Венском университете [17].

При проведении измерений аэрозольный спектрометр фиксирует проскоки частиц через диффузионные батареи. Истинный же интерес представляет распределение по размерам этих частиц. В этом заключается задача обработки измерений. Как было сказано ранее, при помощи спектрометра измеряется диффузионная подвижность частиц, связанная с их размером. Для определения этой подвижности измеряется проскок через диффузионные батареи.

Проскок - отношение концентрации частиц после диффузионной батареи к концентрации на входе в батарею. Или же это - доля частиц, прошедших через диффузионную батарею без осаждения. Для измерения этой величины имеется так называемая нулевая диффузионная батарея, которая не содержит сеточек вообще. Таким образом, измерив концентрацию аэрозоля, прошедшего через нулевую батарею и батарею, содержащую n сеточек, из величины отношения второй концентрации к первой, определяют проскок через батарею, содержащую n сеточек.

Весьма важный вопрос о количестве диффузионных батарей, достаточных для нормальной работы. Для восстановления одномодового распределения по размерам необходимо измерить, как минимум, два независимых проскока, поскольку в этом случае приходится решать два нелинейных алгебраических уравнения с двумя неизвестными - средним значением и шириной распределения. При попытке восстановить двухмодовое распределение таких уравнений становится пять - по два параметра каждого распределения и одна величина, определяющая соотношение между этими модами. Соответственно необходимо иметь, как минимум, пять батарей, но для надежной работы системы необходимо еще одно уравнение. В итоге требуются шесть диффузионных батарей и еще одна нулевая.

Восстановление распределения по размерам из проскоков - довольно сложная и неоднозначная проблема.

2.3. Решение обратной задачи и восстановление спектра размеров по величинам проскоков частиц через диффузионные батареи

Для восстановления спектра размеров аэродисперсной системы из данных по проскокам через диффузионные батареи могут быть использованы различные методы [16 - 19]. Каждый из них обладает как достоинствами, так и недостатками. В такой ситуации необходимо правильно выбрать метод, с одной стороны достаточно надежный, с другой, - не требующий слишком большого времени счета.

Рассмотрим зависимость проскока через диффузионные батареи с n сеточками от параметров диффузионных батарей и потока частиц. Эта зависимость может быть выражена формулой

$$\int_0^8 e^{-AnPe^{\frac{2}{3}}} \varphi(D) dD; Pe = \left(\frac{2av}{D} \right), \quad (1)$$

где A - полуэмпирическая постоянная, для рассматриваемого случая $A = 4.52$; n - количество сеточек в диффузионной батарее; D - коэффициент диффузии частицы, $\varphi(D)$ - распределение частиц по коэффициентам диффузии. Если теперь ввести новую переменную

$$x = (D / 2av)^{\frac{2}{3}},$$

где a - радиус проволок в сеточке, v - скорость газового потока с частицами, и предположить, что распределение частиц по этой переменной представляет собой гамма распределение, то уравнение (1) легко проинтегрировать, и получить нелинейное алгебраическое уравнение относительно параметров распределения λ и γ :

$$P(n) = \left(1 + \frac{An}{\lambda} \right)^{-\gamma}. \quad (2)$$

Теперь для определения параметров распределения по размерам достаточно два измеренных проскока сравнить с формулой (2), получить величины λ и γ и узнать все о распределении частиц по размерам.

Более того, вид зависимости (2) позволяет разделить параметры распределения λ и γ – т.е. решать не систему нелинейных уравнений, а два независимых нелинейных алгебраических уравнения.

Численные эксперименты показали хорошую работу такой схемы расчета при малых ошибках определения соответствующих проскоков.

На рис. 2 представлены кривые проскоков как функции безразмерного параметра $x=An$ для трех различных распределений, у которых одинаковое среднее значение (математическое ожидание), но различные относительные ширины распределений $\langle x \rangle/\sigma$. Все кривые нормированы на 1.

На рис. 3 изображены кривые распределения, для которых просчитаны проскоки, которые можно видеть на рис. 2. Эти распределения также нормированы на 1. Все полученные параметры распределения (средний размер и ширина) относятся к функции распределения по переменной x .

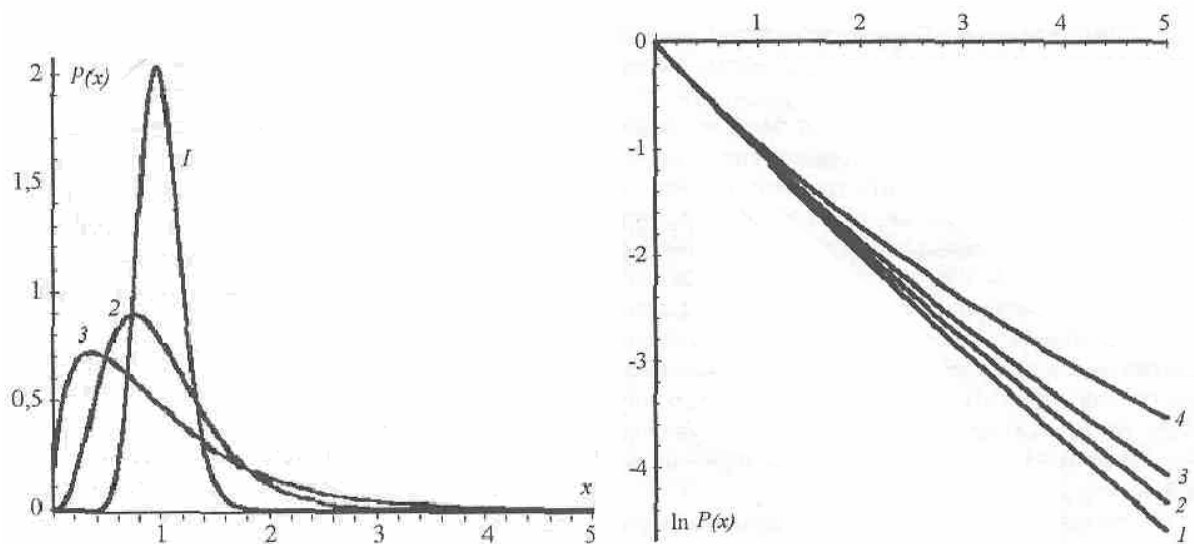


Рис. 2. Проскок через диффузионные батареи в зависимости от безразмерного параметра x , пропорционального количеству сеточек в батареях. Кривые отвечают одному среднему размеру, но различным ширинам распределения.

Рис. 3. Примеры гамма распределения для одного среднего значения и для различных относительных ширины распределения: 1 - 0.2; 2 - 0.5; 3 - 0.89.

Зная связь между x и r - радиусом частицы, легко получить и параметры распределения по радиусам частиц: средний радиус $\langle r \rangle$ и ширину распределения по размерам σ_x .

В таком рафинированном виде на практике не удается поставить и решить задачу. В реальной ситуации любое измерение связано с экспериментальной ошибкой, поэтому следует понимать, какие ошибки допустимы, а при каких эти измерения теряют смысл. Для этого исследуем устойчивость решений уравнений (2). Сначала будем считать, что проскок P_1 измерен точно, ошибка соответствует только проскоку P_2 . Поскольку P_1 и P_2 симметричны, то этот выбор не имеет значения.

Для конкретного распределения: $\lambda = 4$, $\gamma = 4$, это значит, что $\langle x \rangle = 1$. $\sigma = 0.5$. По этим параметрам с помощью формулы (1) были рассчитаны $P(x)$. Необходимо рассчитать, как относительная ошибка $\Delta P/P$ сказывается на искомым величинах: λ и γ , а главное, на $\langle x \rangle$ и σ .

Результаты решения этой задачи приведены на рис. 4 и 5. Как видно из этих рисунков, относительная ошибка в измерении проскоков ($\Delta P/P$) приводит к тому, что параметры распределения λ и γ отклоняются от своего первоначального значения. Практически до относительной ошибки ($\Delta P/P$) = 0.05 эти отклонения не превышают разумных пределов, но после величины 0.05 отклонения становятся очень большими, и, казалось бы, от относительной ошибки $\Delta P/P$ продолжение измерений при таких условиях теряет какой-либо смысл. Однако, как видно из этих же графиков, отклонения от первоначального значения происходят почти синхронно, поэтому, несмотря на то, что значения λ и γ сильно отклонились от своего начального значения, их отношения изменились мало, как это можно видеть из рис. 5. Все приведенное выше означает, что, если необходимо знать только средние значения по распределению, то измерения ($\Delta P/P$) при ошибке 0.1 имеют смысл, если же необходимо знать и ширину распределения, то ошибки в 0.05 оказываются предельными.

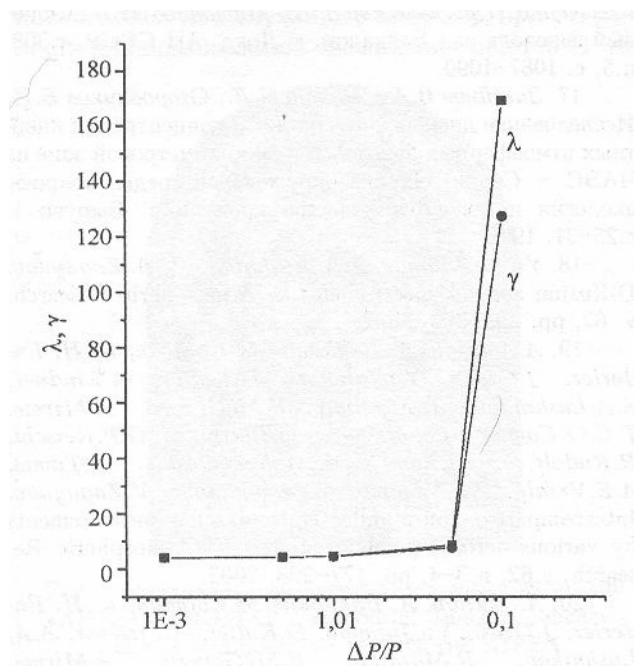


Рис. 4. Зависимость параметров гамма распределения λ и γ от ошибок экспериментального измерения проскока ΔP .

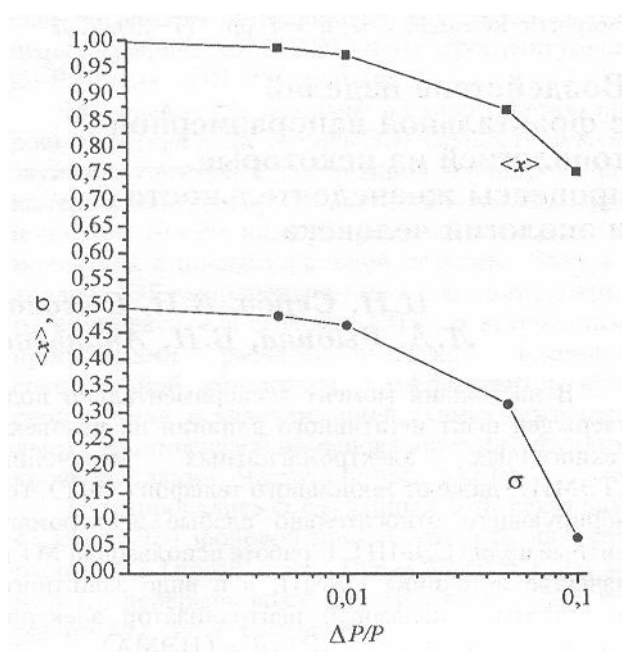


Рис. 5. Зависимость среднего значения по распределению x и ширины распределения σ .

3. Заключение

Диффузионный аэрозольный спектрометр - универсальная система, которая может быть использована для измерения наночастиц в газовой фазе и диагностики дисперсной среды в широком диапазоне размеров. Эта

измерительная система достаточно гибкая и в зависимости от потребностей пользователей может быть модернизирована.

Представлен математический аппарат для преобразования измеряемых проскоков через диффузионные батареи в распределение по размерам наночастиц. Если наносистема имеет сложное распределение по размерам, состоящее из нескольких мод, то представленный математический аппарат может быть легко приспособлен для обработки и более сложного спектра размеров. Анализ возможных погрешностей при измерениях диффузионным динамическим методом показывает, что этот метод измерений устойчив, при этом определение среднего размера более устойчиво к ошибкам. Ширина распределения по размерам более чувствительна к погрешностям измерений проскоков.

Диффузионный аэрозольный спектрометр может быть использован для измерения высокодисперсных аэрозолей с самыми различными целями - от контроля воздушной среды в чистых комнатах, например, при создании элементов электроники, до контроля чистоты воды в реальном масштабе времени (вода диспергируется в воздушной среде, полученные частицы высушиваются, спектр размеров свидетельствует о чистоте воды). Длительное использование этого прибора для исследования атмосферных аэрозолей показало, что система может работать в автоматическом режиме непрерывно в течение долгого времени (около года) в различных климатических и погодных условиях [14 - 17].

Прибор был представлен на Международном коллоквиуме по интеркалибровке, который состоялся в июне - июле 1993 г. в Вене, где одновременно были сопоставлены 15 измерительных систем из ведущих лабораторий мира и фирм, специализирующихся на изготовлении оборудования для аэрозольных измерений. Сопоставление описанной измерительной системы с другими приборами показало, что она дает

корректные показания в широком диапазоне размеров и концентраций аэрозольных частиц [18, 19].

Автор выражает благодарность Международному научно-техническому центру (проект № 1908) за поддержку работы.

Литература

1. Mirme A., Kikas U., Tamm E. Time-size structure of atmospheric aerosol. - Lecture Notes in Physics, n.3.09, p. 55-59, 1988.

2. Mirme A., Tamm E., Fischer M. Variability of Aerosol Concentration and the Fine Structure of Aerosol Size Distribution / J. Aerosol Sci., v. 26, Suppl. 1, p. S73-S74, 1995.

3. Winklmayr W., Reischl G.P., Lindner A.O., Berner A. A new mobility spectrometer for the measurement of aerosol size distributions in the size range from 1 to 1000 nm / J. Aerosol Sci., v. 22. No 3. p. 289-296, 1991.

4. Szymanski W. W., Podgorski A. Dual light scattering geometry for determination of particle refractive index / J. Aerosol Sci., v. 26, Suppl. 1, pp. S781-S782. 1995.

5. Szymanski, W. W. Aerosol concentration measurement with multiple light scattering system and laser aerosol spectrometer / Atmos. Res., v. 62. p. 255-265. 2002.

6. Julanov Yu.V., Lushnikov A.A., Nevsky I.A. Statistics of multiple counting in aerosol counters / J. Aerosol Sci., v. 15. No 1. p. 69-79, 1984.

7. Коган Я.И. ДАН, т.161. № 2. с. 288, 1965.

8. Загайнов В.А., Сутугин А.Г., Петрянов И.В., Лушников А.А. Вероятность прилипания частиц молекулярного аэрозоля к поверхности - ДАН, т. 221. № 2. с. 367-369, 1975.

9. Baklanov A.M., Dubtsov S.N. An experimental setup for aerosol spectrometers calibration / J. Aerosol Sci., v. 24, p. S237, 1993.

10. Бирюков Ю.Г., Загайнов В.А., Зудин Б.В., Корнеев А.А., Никитин О.Н. Автоматизированный диффузионный спектрометр аэрозольных частиц в атмосфере. Всес. конф. «Использование вычислительной техники для решения проблем охраны окружающей среды в теплоэнергетике». Часть 2. с. 65-68, Севастополь, 1988.
11. A.A. Kirsch. The influence of an external electric field on the deposition of aerosols in fibrous filter / *J. Aerosol Sci.*, v. 3. No 1, p. 25-30. 1972.
12. O'Dowd C.D., Aalto P.P., Yoon Y.J., Hamri K. The use of pulse height analyser ultrafine condensation particle counter (PHA-UCPC) technique applied to sizing of nucleation mode particles of different chemical composition / *J. Aerosol Sci.*, v. 35. No 2. p. 205-216, 2004.
13. Makela J.M., Aalto P., Jokinen V. et al. Observations of ultrafine particle formation and growth in boreal forest. *Geophysical Research Letters*, v. 24, p. 595-611. 1997.
14. Жуланов Ю.В., Загайнов В.А., Лушников А.А. и др. Высокодисперсный и субмикронный аэрозоль аридной зоны / *Изв. АН СССР, сер. ФАО*, т. 22. № 5. с. 488-495. 1986.
15. Загайнов В.А., Жуланов Ю.В., Лушников А.А. и др. Суточные изменения параметров атмосферного аэрозоля горных районов / *Изв. АН СССР, сер. ФАО*, т. 23. № 12. с. 1323-1329, 1989.
16. Загайнов В.А., Лушников А.А., Никитин О.Н. и др. Фоновый аэрозоль над Байкалом / *Докл. АН СССР*, т. 308, № 5. с. 1087-1090.
17. Загайнов В.А., Чуркин С.Л., Огородников Б.И. Исследование дисперсного состава и концентрации инертных атмосферных аэрозолей в 30-километровой зоне ЧАЭС. – Серия: Охрана окружающей среды, вопросы экологии и контроль качества продукции. Вып. 1. с. 25-31. 1992.
18. Yu.V. Julanov, A.A. Lushnikov, V.A. Zagaynov. Diffusion aerosol spectrometer / *Atmospheric Research*, v. 62. p. 295-302. 2002.
19. A. Ankilov, A. Baklanov, M. Colhoun et al. Intercomparison of number concentration measurements by various aerosol particle counter / *Atmospheric Research*, v. 62. No 3 - 4, p. 177-208, 2002.

ИСПЫТАНИЯ РЕСПИРАТОРОВ ИЗ ФПП ПО МЕТОДИКАМ, ПРИНЯТЫМ В ГАРМОНИЗИРОВАННЫХ СТАНДАРТАХ

Коробейникова А.В.

ЗАО НТЦ «Портативные СИЗ», Санкт-Петербург

В связи с введением новых (гармонизированных с европейскими) стандартов, введенных в действие в России с 1 января 2003 г., изменились условия испытаний и классификация СИЗОД по защитной эффективности. В зависимости от величины коэффициента проникания (см. табл. 1) противоаэрозольные респираторы и фильтры для СИЗОД делят на три класса по эффективности и обозначают цифрами: 1 - низкая эффективность; 2 - средняя; 3 - высокая. Класс защиты по эффективности указывается в маркировке на изделии. Фильтрующие противоаэрозольные полумаски обозначаются FFPX, где X - класс защиты.

Таблица 1.

Требования к защитным свойствам противоаэрозольных респираторов

Показатели для класса полумаски	Класс защиты	ГОСТ Р * 12.4.191-99 ¹⁾ [1]	ГОСТ 12.4.028-6 [2]
Коэффициент проникания (проницаемость) аэрозоля через материал полумаски не более, %	FFP 1	20 ¹⁾	16
	FFP 2	6 ¹⁾	2
	FFP 3	1 ¹⁾	0.4
Коэффициент проникания аэрозоля через полумаску на испытателях не более, %	FFP 1	22 ^{1.2)}	-
	FFP 2	8 ^{1.2)}	
	FFP 3	2 ^{1.2)}	

Примечания: *- гармонизирован с EN 149-97.

- 1) до и после температурных воздействий (+70 °С в течение 24 ч и -30 °С 24 ч),
- 2) для двух из десяти испытателей допускается превышение коэффициента проникания через полумаску до 25 % для FFP1; до 11 % для FFP2; до 5 % для FFP3.

Из приведенных в табл. 1 данных складывается впечатление, что требования в ГОСТ 12.4.028 к респираторам значительно выше, чем в гармонизированных стандартах. Рассмотрим методики, при которых проводятся испытания. Величина коэффициента проникания напрямую зависит от скорости воздушного потока, дисперсного состава тест-аэрозоля и метода оценки концентрации аэрозоля. Методы и условия испытаний по тест - аэрозолям приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Методы и условия испытаний по тест-аэрозолям фильтрующих противоаэрозольных материалов для СИЗОД и респираторов на их основе

Условия испытаний	ГОСТ Р 12.4.191-99		ГОСТ 12.4.028-76
	Расход воздуха, дм ³ /мин	95	
Тест-аэрозоль	хлорид натрия ¹⁾	парафиновое масло (ПМ) ²⁾	масляный туман (турбинное масло Т ₂₂ или Т ₃₀)
Диаметр частиц аэрозоля, мкм	0.6 (среднемассовый)	0.4 (диаметр Стокса)	0.28 - 0.34 (массовый)
Концентрация аэрозоля до испытаний, мг/м ³	8 ± 4	20 ± 5	250 ± 50
Средства измерения концентрации	Водородный пламенный фотометр (К _{пр.} = 0.001-100 %)	Интегрирующий фотометр (К _{пр.} = 0.03-100 %)	Фотоэлектрический нефелометр ФАН-А
Время экспозиции	30 с через 3 мин после начала испытания		1 мин через 10 - 15 с после подачи МТ

Примечания: 1) Аэрозоль генерируют с помощью распылителя Коллисона, заполненного 1 % раствором хлорида натрия при давлении 345 Па.

2) Аэрозоль генерируют путем распыления нагретого парафинового масла.

Анализ данных табл. 2 показывает, что условия испытаний в гармонизированных стандартах более жесткие: испытания ведутся при объемном расходе 95 л/мин, тест-аэрозоли отличаются по качественному (хлорид натрия, парафиновое масло и масляный туман), дисперсному составу (диаметр частиц составляет соответственно 0.6 (массовый),

0.4 (Стокса) и 0.28-0.34 мкм), исходной концентрации тест-веществ и времени экспозиции: в новых стандартах испытания проводят в течение 30 с через 3 мин после начала опыта, в ГОСТ 12.4.028-76 – в течение 1 мин через 10-15 с после подачи МТ.

Ужесточились условия испытаний также и на испытателях. Ранее проводили испытания только исходных образцов в покое и при выполнении мимических упражнений (проговаривание алфавита, наклоны головы вправо и влево, имитация улыбки).

По гармонизированным стандартам испытания респираторов на испытателях проводят как в состоянии поставки, так и после температурного (по 24 ч при +70 и –30 °С) и механического воздействия. При этом в камере испытуемый передвигается по тредбану со скоростью 6 км/ч и выполняет следующие упражнения: ходьба, повороты головы из стороны в сторону, повороты головы вверх-вниз, проговаривание алфавита, снова ходьба (см. табл. 3).

По каждому упражнению ведется отдельный учет, что дает возможность определить конструктивные недостатки изделия, которые можно учесть при разработке. Такие условия испытаний можно считать моделирующими работу, в том числе различных степеней тяжести от легкой до тяжелой.

Класс защиты подтверждается при сертификации по среднему значению коэффициента проникания, рассчитанному по результатам испытаний по всем видам упражнений.

В табл. 4 приведены результаты испытаний материалов и респираторов конструкции «Лепесток» и «АЛИНА», изготовленных из серийно выпускаемых материалов ФПП-15-1.5 различных производителей.

Таблица 3.

Коэффициент проникания частиц хлорида натрия через респиратор

Испытатель	№ образца	Состояние образца	Коэффициент проникания хлорида натрия, К (%)					Средний $K_{пр}$
			(А) ходьба	(Б) повороты головы из стороны в сторону	(В) повороты головы вверх-вниз	(Г) проговаривание алфавита	(Д) ходьба после Б, В, Г	
ВД	405/04	Пп	1.04	1.57	2.19	4,21	2.69	2.34
КН	406/04	Пп	1.80	1.94	2.74	2.22	3.21	2.38
БС	407/04	Пп	1.44	2.75	2.63	3.74	3.90	2.89
ЗО	408/04	Пп	1.45	1.96	2.61	2.82	3.34	2.44
ИА	409/04	Пп	1.60	1.22	1.93	1.83	1.62	1.64
КИ	410/04	Пп	1.42	1.42	1.59	1.54	2.71	1.74
СС	417/04	Пп	1.71	2.35	2.47	3.16	2.94	2.53
СЕ	418/04	Пп	1.16	1.37	1.84	2.25	2.43	1.81
ГС	419/04	Пп	1.52	1.98	2.03	2.76	2.87	2.23
КТ	420/04	Пп	1.46	1.83	2.25	2.38	2.41	2.07
Ср. $K_{пв}$			1.46	1.84	2.23	2.69	2.81	2.21
Мин. $K_{пр}$			1.04	1.22	1.59	1.54	1.62	1.64
Макс. $K_{пр}$			1.80	2.75	2.74	4.21	3.90	2.89

Примечание: ' - использовались образцы в состоянии после поставки (Пп).

Таблица 4.

Результаты испытаний (без термостатирования) материалов и респираторов по различным тест-аэрозолям и методике ГОСТ Р 12.4.191-99

№	№ / год испытаний	Коэффициент проникания (%), средний (минимальный-максимальный)			
		МТ	ПМ	NaCl	NaCl (на испытателях)
1	18/04	-	0.79	0.05	1.38 (0.8-2.2)
2	28/04	-	2.3	0.10	3.98 (1.9-7.9)
3	29/04	-	3.09	0.21	2.32 (1.2-5.4)
4	30/04	-	2.4	0.23	2.21 (1.6 -2. 9)
5	16/05	-	1.15	0.07	1.9 (0.9-2.8)
6	18/05	-	0.59	0.05	1.7 (1.3-1.9)
7	18/06	-	3.18	0.39	2.1 (1.6-2.8)
8	19/06	-	0.13	0.01	1.7 (1.2-2.1)
9	359/06	1.8 (1.4-2.9)	-	-	0.7 (0.4-1.5) ¹⁾
10	388/06	2.9 (2.4-3.3)	-	-	0.6 (0.3-1.0) ¹⁾

Примечание: ¹⁾ - на испытателях с использованием масляного тумана.

Как видно из табл. 4, коэффициент проникания через материал респиратора при 95 л/мин больше по парафиновому маслу и масляному туману, чем по хлориду натрия и составляет от 0.13 до 3 %. Коэффициент проникания через респиратор на испытуемых при этом составлял 0.6 – 4 %.

Подобный разброс данных говорит о том, что материалы, скорее всего, имеют разную поверхностную плотность. Норма по ТУ (27+/- 5) г/м².

Нестабильность свойств серийно производимых в настоящее время материалов ФПП-15-1.5 не позволяет отнести респираторы к классу FFP3(ФП). Для увеличения класса защиты респираторов из ФПП-15-1.5 необходимо пересмотреть требования на материал в сторону ужесточения показателя «поверхностная плотность», установив норматив не менее (27+5) г/м².

Литература

1. ГОСТ Р 12.4.191-99. ССБТ. Полумаски фильтрующие для защиты от аэрозолей. Общие технические условия.
2. ГОСТ Р 12.4.028-76. ССБТ. «Респираторы ШБ-1 Лепесток». Технические условия.

НАНОВОЛОКНИСТЫЙ МАТЕРИАЛ ФП ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ

Филатов И.Ю.¹, Филатов Ю.Н.¹, Будыка А.К.¹, Мамагулашвили В.Г.¹,
Мартынюк Ю.Н.²

¹ ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»,

² ЗАО "НПП «Доза»

Ключевые слова: фильтрующий материал, электроформование волокон, нановолокна, радиоактивные аэрозоли, альфа-спектрометрия, дочерние продукты радона.

Введение

Осуществление мониторинга радиоактивных аэрозолей в помещениях предприятий атомной промышленности и энергетики позволяет своевременно обнаружить аварийные выбросы и принять адекватные меры. В России и за рубежом в приборах непрерывного и периодического контроля используются аналитические фильтрующие ленты и фильтры.

Информацию о них можно найти в каталогах фирм-производителей. Известны как волокнистые (Whatman, Gelman, MSA, Pallflex, Reeve Angel, Delbag), так и мембранные фильтры (Millipore, Nuclepore, Metricel, Zefluor).

Фильтрующие материалы перечисленных фирм обладают эффективностью в диапазоне от 33 до 99.999 % в диапазоне скоростей 1- 100 см/с и гидродинамическим сопротивлением при линейной скорости воздушного потока 1 см/с не менее 60 Па (для волокнистых фильтров) и не менее 180 Па (для мембранных фильтров) [1].

Несмотря на высокую эффективность улавливания аэрозолей мембранными фильтрами, из-за превышения допустимого сопротивления более чем в три раза они не могут быть использованы в средствах отбора проб, которыми оборудованы большинство предприятий российской

атомной промышленности.

В России для анализа радиоактивных аэрозолей применяют фильтры АФА [2], разработанные в шестидесятые-семидесятые годы XX века на основе фильтрующих материалов ФП. Среди них наиболее эффективным является фильтр АФА-РСП, выполненный из двухслойного фильтрующего материала ЛФС-2. Из него изготавливают также аналитические ленты ЛФС-2 с шириной рабочего слоя 25 и 50 мм. Подложку ЛФС-2 делают из проклеенных волокон диаметром 5 – 10 мкм, а лобовой слой – из волокон диаметром 0.3 – 0.7 мкм из хлорированного поливинилхлорида. В настоящее время данный материал не выдерживает конкуренции с лучшей зарубежной продукцией, например, с аналитическими лентами Fluoropore FLSW компании Millipore.

В связи с этим в НИФХИ им. Л.Я. Карпова была поставлена задача разработать совместно с НПП «Доза» аналитический материал нового поколения, отвечающий современным требованиям методов анализа радиоактивных аэрозолей.

Материалы и методы исследования

В работе исследованы свойства аналитических лент ЛФС-2 производства Esfil-Techno (Эстония), Fluoropore FLSW производства Millipore и ЛФАС-4 производства НПП «Доза», разработанные в НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Нановолокнистый материал, составляющий рабочий слой лент ЛФАС-4 [3] получен методом электроформования [4] из хлорированного поливинилхлорида с добавлением эластомера, увеличивающего плотность упаковки и улучшающего скрепление нановолокон с подложкой.

Расчеты оптимальной структуры новых аналитических материалов выполнены по формулам, приведенным в работах [5].

Фотографии рабочего слоя аналитических материалов получены на

сканирующем электронном микроскопе Hitachi S3400 при увеличении $\times 12000$. Измерение пористости образцов проводили с помощью прибора Coulter porometer II, основанного на принципе измерения перепада давления на смоченной и сухой мембране. Эффективность улавливания аэрозолей оценивали с помощью лазерного аэрозольного спектрометра ЛАС по частицам атмосферного аэрозоля диаметром 0.15 мкм при линейной скорости фильтрации 120 см/с. Энергетические спектры радиоактивных проб получены на α -спектрометре УДА-1АБ (НПП «Доза») [6].

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены фотографии рабочей поверхности исследуемых аналитических материалов. Хорошо заметна дефектность и большой разброс по диаметру волокон материала ЛФС-2 и утолщения на волокнах, сильно уменьшающие плотность упаковки волокон. Все это в совокупности приводит к уменьшению эффективности материала и, особенно, лобового слоя. Последнее обстоятельство является причиной уширения пиков энергетического спектра альфа-излучения от уловленных аэрозолей дочерних продуктов радона (ДПР) (рис. 2). Размытие спектра возникает вследствие проникновения аэрозолей, содержащих ДПР, в более глубокие слои аналитической ленты ЛФС-2.

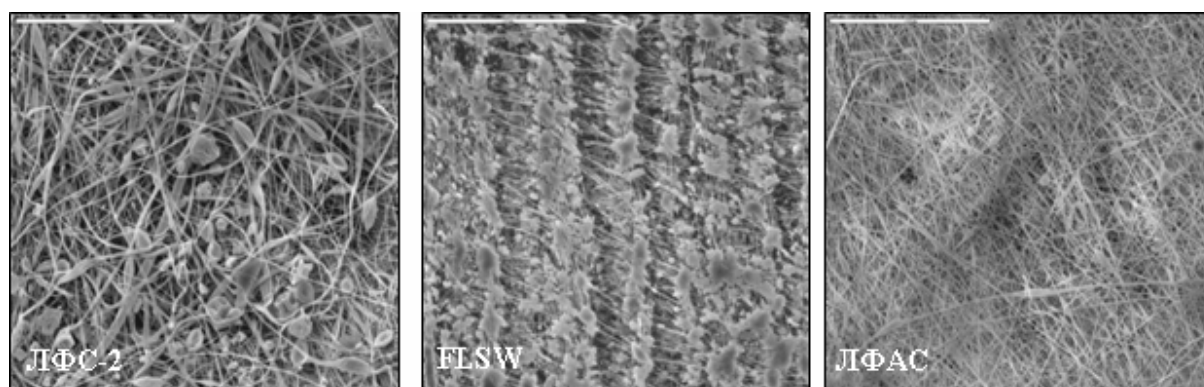


Рис.1. Фото внешнего вид лобового слоя аналитических материалов, сделанные на электронном микроскопе. Линейка 50 мкм.

Это ведет к потере энергии α -частиц на пути к детектору альфа-излучения, и, как следствие, к неточной оценке количества техногенных аэрозолей, содержащих изотопы урана и плутония.

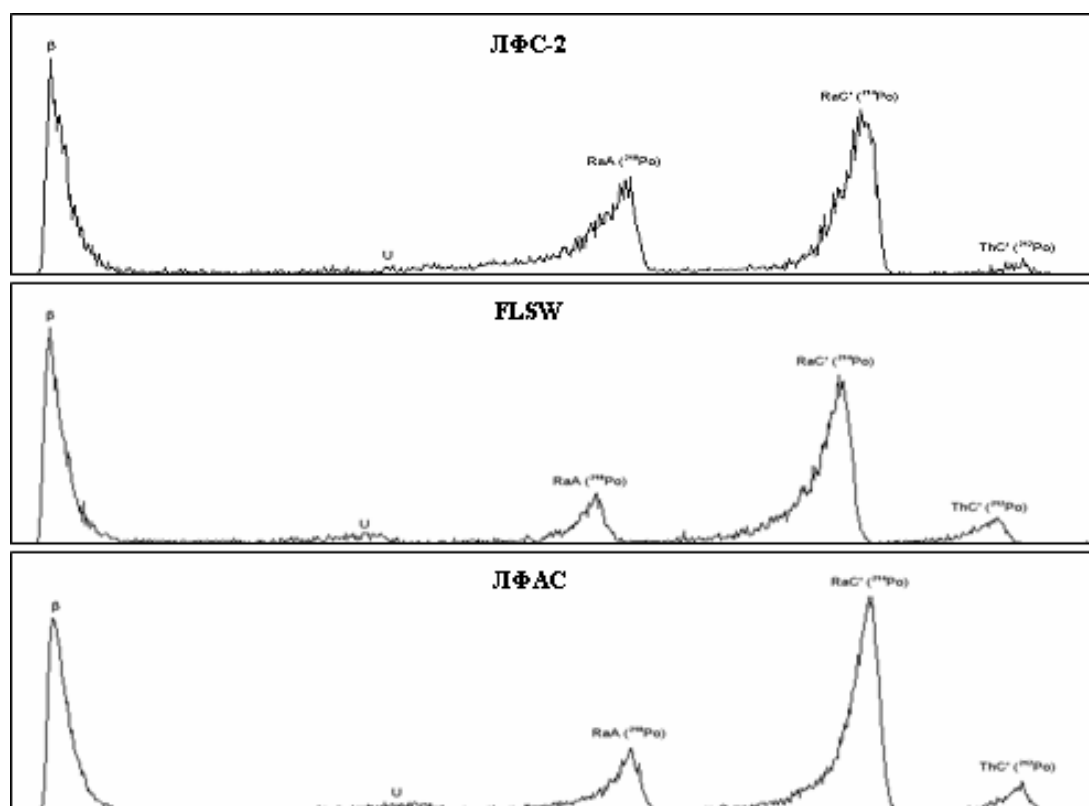


Рис.2. Спектр α -излучения аэрозолей уловленных на аналитические ленты.

Эффективность ленты Fluoropore FLSW, как показывает проведенный эксперимент, очень высока (рис. 1, табл. 1). Это связано с очень малым диаметром волокон, составляющих рабочий слой. Однако в слое имеются и пленочные образования, непроницаемые для воздуха. Этим объясняется сравнительно высокое гидродинамическое сопротивление потоку воздуха.

Таблица 1.

Характеристики аналитических лент

Марка	Сопротивление при 1 см/с, Па	Коэффициент проскока частиц диаметром 0.15 мкм при скорости 120 см/с, %
ЛФС-2	18	30
Fluoropore FLSW	110	0.1
ЛФАС-4	44	0.5

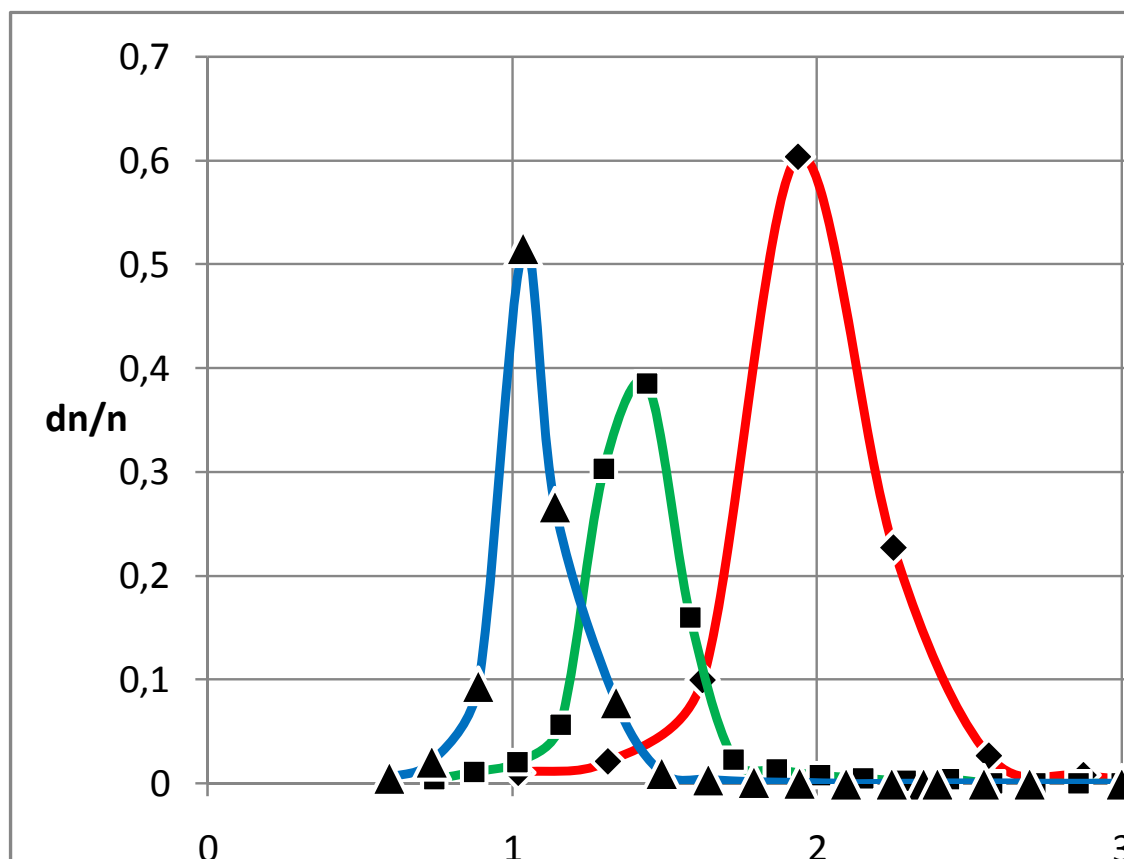


Рис. 3. Дифференциальное распределение пор в рабочем слое аналитических лент.

Известно [7, 8], что дочерние продукты радона содержатся на аэрозольных частицах с диаметром 0,1 – 0,2 мкм. Чтобы уловить такие частицы волокнистым слоем толщиной менее 10 мкм, необходимо подобрать диаметр волокон и плотность упаковки слоя.

Проведены расчеты эффективности улавливания частиц диаметром 0,1 мкм при скорости фильтрации 100 см/с – рабочей скорости большинства приборов контроля радиоактивных аэрозолей.

Определена структура двух материалов: ЛФАС-2 в качестве замены ЛФС-2 с тем же гидродинамическим сопротивлением, и ЛФАС-4 – более плотного и эффективного материала для использования в современных средствах контроля радиоактивных аэрозолей. Результаты расчетов приведены на рис. 4 и в табл. 2.

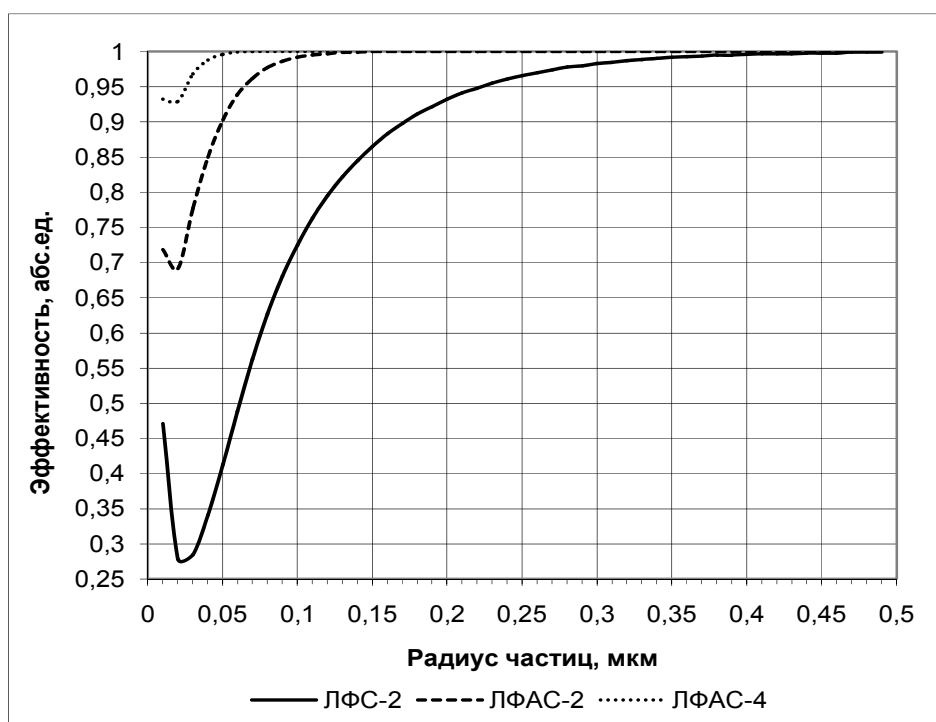


Рис. 4. Расчетная сравнительная эффективность материалов при скорости 100 см/с.

Таблица 2.

Сравнительные характеристики лент

Показатель	Марка материала		
	ЛФС-2	ЛФАС-2	ЛФАС-4
Средний диаметр волокон, мкм	0,8	0,2	0,2
Сопrotивление подложки, Па	8,1	0,2	0,2
Сопrotивление рабочего слоя, Па	8,5	16,5	40,5
Масса единицы площади рабочего слоя, г/м ²	3,1	0,5	0,9
Плотность упаковки волокон, %	6	10	15
Толщина рабочего слоя, мкм	33	3	4
Эффективность по частицам диаметром 0,1 мкм при скорости 100 см/с, %	40	90	99,6

По данным расчетов эффективностью, достаточной для улавливания частиц диаметром 0,1 мкм при линейной скорости фильтрации 100 см/с, будет обладать материал со средним диаметром волокон 200 нм. Эффективность такого материала при плотности слоя нановолокон 0,9 г/м² будет составлять не менее 99,6%. При этом стандартное сопротивление фильтрующего материала не превысит 41 Па.

К основным показателям качества фильтрующего материала для анализа аэрозолей, помимо его эффективности, относится распределение уловленных частиц по глубине рабочего слоя. На рис. 5 представлен расчет такого распределения, выполненный для ЛФС-2, ЛФАС-2 и ЛФАС-4.

На рис. 5 видно, что в материале ЛФАС-4 на глубине в 1 мкм будет задержано более 70 % от общего числа частиц, пропущенных через фильтр, тогда как для ЛФС-2 это значение менее 5 %.

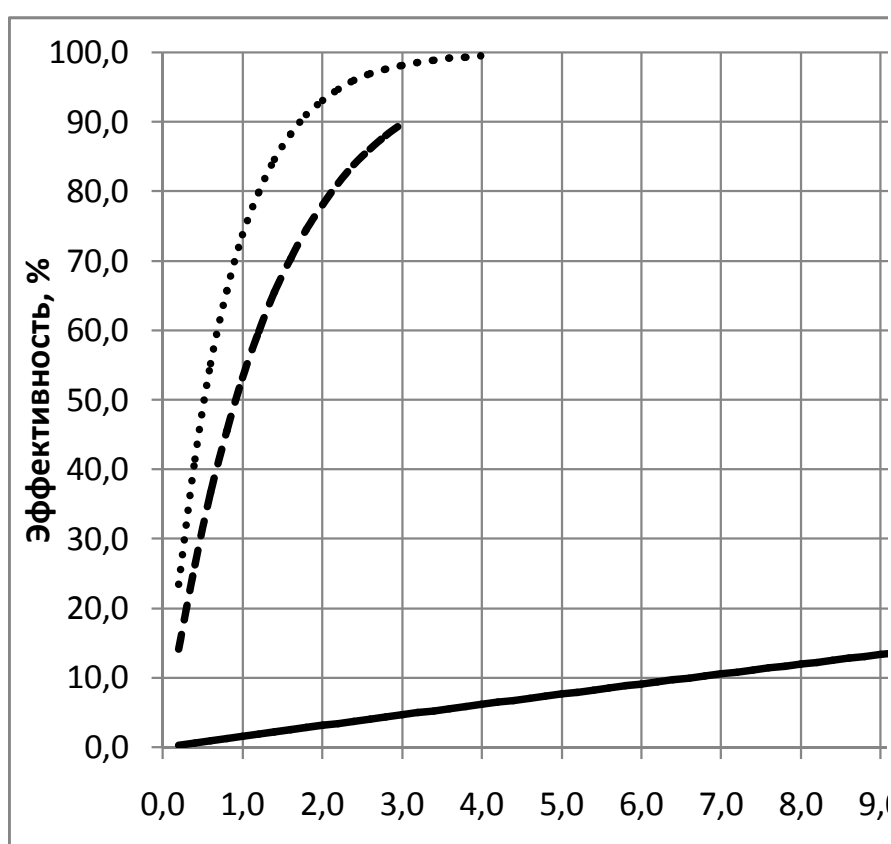


Рис. 5. Эффективность фильтрующего материала в зависимости от его толщины (по частицам диаметром 0.1 мкм при линейной скорости 100 см/с)

Методом электроформования с учетом результатов расчетов структуры фильтрующего материала были разработаны новые аналитические материалы ЛФАС. Конструктивно они представляют собой материалы со средним диаметром волокон 200 нм, нанесенные на подложку из полимерного нетканого микроволокнистого материала.

Рабочий слой затем термопрессован (в случае ЛФАС-4). Термопрессование позволяет надежно скрепить подложку и рабочий слой, уменьшить толщину рабочего слоя за счет увеличения плотности упаковки, повысить эффективность фильтрации и приблизить новый материал по характеристикам к мембране (рис. 1-3, табл. 1, 2).

Заключение

Проведенные расчеты и технология электроформования позволили разработать новый аналитический материал со значительно улучшенными по сравнению с прототипом эксплуатационными свойствами.

Проведены сравнительные испытания аналитической ленты ЛФАС и аналитической ленты Fluoropore FLSW на крупных предприятиях российской атомной промышленности, показавшие, что отечественный аналитический материал не уступает зарубежному аналогу по эффективности и, в то же время, имеет существенно более низкое аэродинамическое сопротивление.

Фильтрующий материал защищен патентом РФ. Работа награждена медалями и почетными дипломами ряда международных выставок в 2005-2007 гг.

Работа выполнена в соответствии с государственным контрактом № 02.523.11.3004 от 16 мая 2007 г. «Разработка технологического процесса и оборудования для опытно-промышленного производства аналитических фильтров и аналитических лент из полимерных микро- и нановолокон, предназначенных для контроля аэрозолей и газообразных соединений радиоактивного йода».

Литература

1. P.A. Baron, K. Willeke (Eds.). Aerosol measurements: principles, techniques and applications. Second edition. (2001). Wiley, 1172 p.

2. Борисов Н.Б., Басманов П.И., Борисова Л.И. Аналитические фильтры АФА для исследования аэрозолей / Труды ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова. III Петряновские чтения, 2001. 229 с.
3. Патент РФ № 2282846. Способ получения фильтрующего материала, фильтрующий материал и респиратор на его основе. / Филатов Ю.Н., Будыка А.К., Мартынюк Ю.Н., Филатов И.Ю.; опубл. 2004 г.
4. Y. Filatov, A. Budyka, V. Kirichenko (2007). Electrospinning of micro- and nanofibers and their applications in filtration and separation processes. N. Y.: Begell House Inc. Publ, 489 p.
5. Kirsch A.A., Stechkina I.B (1978) Theory of aerosol filtration with fibrous filters. In Fundamental of Aerosol Science. D. T. Shaw (Ed.) N. Y.: Wiley, p. 165-256.
6. <http://www.doza.du>
7. Рuzер Л.С. Радиоактивные аэрозоли. М.: Энергоатомиздат, 2001.
8. Aerosols handbook. Measurement, dosimetry and health effects. (2005) // L.S. Ruzer, N. Harley (Eds.). N.Y. CRC Press Publ.

ОЧИСТКА ГЕНЕРИРОВАННЫХ В ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА ОТ ЩЕЛОЧИ

Андреев Б.М., Магомедбеков Э.П., Пак Ю.С., Розенкевич М.Б.,
Сахаровский Ю.А.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

Ключевые слова: электролитические водород и кислород, очистка, аэрозоль КОН.

1. Введение

Постановка задачи настоящей работы определяется необходимостью глубокой очистки электролитически генерируемых при разложении воды кислорода и, особенно, водорода при их использовании в процессах, связанных с разделением изотопов водорода. В настоящее время в развитых странах мира проводится большой круг работ, направленных на создание экономичных методов детритизации различных водных отходов, возникающих при эксплуатации объектов ядерной энергетики и исследовательских термоядерных установок. При этом в качестве наиболее перспективных технологий для этого рассматриваются метод химического изотопного обмена (ХИО) между водородом и водой на стадии начального концентрирования трития и криогенная дистилляция (КД) водорода на стадии получения продуктового трития. Оба эти метода связаны с использованием в составе разделительных установок электролизеров, причем в силу большего ресурса работы во многих случаях речь идет об использовании щелочных электролизеров. Примеси щелочи, содержащиеся в образующихся в ходе электролиза воды водороде и кислороде, необходимо удалять, поскольку они нарушают нормальный технологический режим работы установок.

Учитывая юбилейный характер настоящих Трудов, посвященных

100-летию со дня рождения И.В. Петрянова, необходимо сделать следующее замечание. Все авторы настоящего доклада считают себя в той или иной степени учениками Игоря Васильевича, поскольку он был одним из основателей кафедры технологии изотопов в РХТУ им. Д.И. Менделеева, к которой мы имеем непосредственное отношение. И.В. Петрянов был некоторое время заведующим этой кафедры и более 30 лет – профессором. Поэтому, несмотря на то, что использованные в настоящей работе фильтры Петрянова являются не более чем элементом аналитической системы экспериментальной установки, мы посчитали своим долгом принять участие в юбилейных Петряновских чтениях.

2. Методика экспериментов

Схема экспериментального стенда приведена на рис.1.

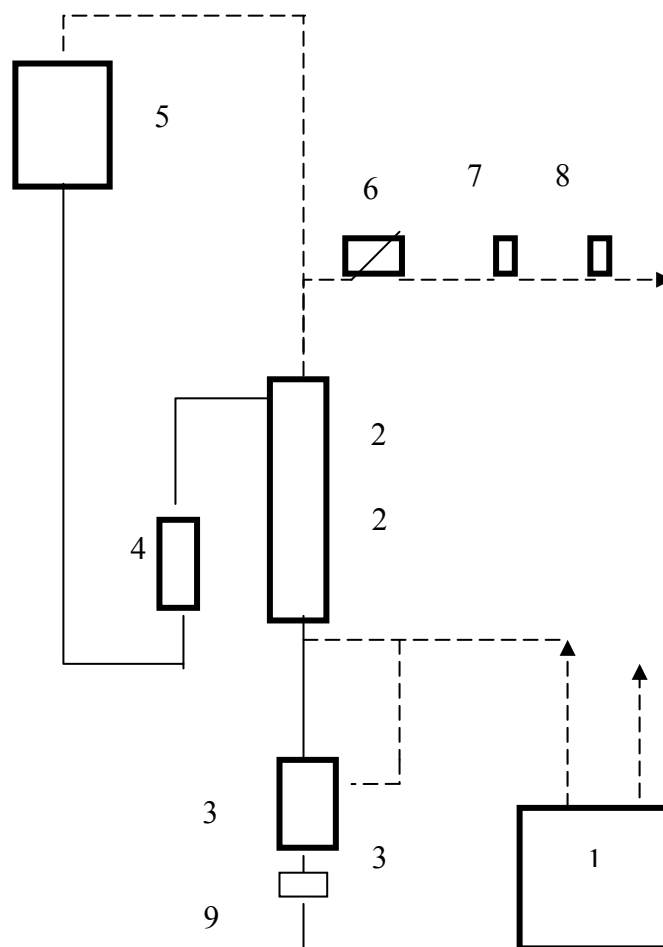


Рис. 1. Схема экспериментального стенда.

Его основные элементы: 1 – электролизер, 2 – противоточная колонна, изготовленная из стали (в работе использованы две колонны: диаметром 20 мм с высотой рабочего слоя 230 мм и диаметром 28 мм с высотой рабочего слоя 1000 мм), 3 – сборная емкость, 4 - измеритель расхода подаваемой в колонну воды, 5 – напорная емкость для воды, соединенная по газовой линии с выходом из колонны, 6 – регулятор давления, 7 и 8 – фильтры тонкой очистки (ФПП-15-1.5), 9 - вентиль для отбора проб воды из сборной емкости. Большинство экспериментов были проведены при комнатной температуре в колонне. Давление в электролизере изменялось от 0.1 до 0.25 МПа. При этом в колонну из электролизера может быть направлен либо поток водорода, либо кислорода.

Как следует из приведенной схемы, предполагается, что основная очистка газов проводится в противоточной колонне, орошаемой водой (в разделительных установках, упомянутых выше, такой поток является технологическим). Фильтры тонкой очистки 7 и 8 служат для улавливания щелочи, не удаленной в противоточной колонне.

Определение количества КОН в выходящих газах проводили с использованием K^+ - селективного электрода с пределом обнаружения 10^{-5} г-ион/л. Методика определения количества щелочи была следующей. Использованный в эксперименте фильтр помещали в сосуд с 10 см^3 горячей воды и при температуре $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ смывали с него щелочь. Полученный раствор использовали для определения концентрации. В предварительных экспериментах было показано, что при повторной обработке фильтра тем же количеством воды концентрация щелочи в ней ниже предела обнаружения ионселективного электрода. Это означает, что в условиях всех проведенных экспериментов остаточное содержание щелочи на фильтре не превышало 1 % от количества щелочи в первой порции воды, т.е. находящаяся на фильтре щелочь эффективно смывается с фильтра уже первой порцией воды. Таким образом, методика позволяет

определять следующее количество щелочи на фильтре: при пределе обнаружения ионселективного электрода 10^{-5} мг-ион/л количество щелочи на фильтре должно составлять

$$10^{-5} [\text{мол/л}] \cdot 10 \cdot 10^{-3} [\text{л}] \cdot 56.5 [\text{г/мол}] = 56.5 \cdot 10^{-7} \text{ г} = 5.65 \text{ мкг.}$$

Концентрация в газе щелочи в виде аэрозоля зависит от его количества, прошедшего через фильтр (например, при объеме пропущенного газа 10 м^3 минимально определяемая концентрация щелочи в нем будет соответствовать примерно 0.5 мкг/м^3).

В предварительных экспериментах было определено количество щелочи, содержащееся на выходе образующихся в электролизере газах. В экспериментах использован щелочной электролизер с производительностью по водороду $0.5 \text{ нм}^3/\text{ч}$. Экспериментальные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Содержание аэрозоля щелочи* в водороде и кислороде при различных режимах работы электролизера

Поток водорода (поток кислорода), $\text{нм}^3/\text{ч}$	0.22 (0.11)		0.38 (0.19)	
	Давление в электролизере, МПа	0.1	0.25	0.1
Количество КОН в H_2 , мкг/нм^3	330	-	85	5 (<3)**
Количество КОН в O_2 , мкг/нм^3 ***	100	80	80	60

Примечание: *- разброс найденных количеств щелочи в параллельных экспериментах не превышает 20 %, ** - первая цифра соответствует содержанию щелочи при условии установки фильтра в зоне повышенного давления, цифра в скобках – при условии расположения фильтра после регулятора давления, т.е. при давлении 0.1 МПа, *** - во всех случаях фильтр установлен на линии кислорода, в которой давление равно 0.1 МПа.

Из приведенных данных видно, что содержание щелочи в водороде значительно уменьшается при увеличении производительности электролизера и, особенно, при росте давления. Это может быть

следствием того, что при увеличении нагрузки увеличивается газонаполнение катода и уменьшается количество электролита в нем. В свою очередь, увеличение давления приводит к уменьшению линейной скорости водорода в катоде и, как следствие, уменьшению уноса аэрозольных частиц щелочи. Кроме того, на это может налагаться и эффект дросселирования водорода в мембранном регуляторе давления, сопровождающийся выпадением щелочи. Действительно, при вскрытии регулятора давления после проведения большой серии экспериментов на стороне мембраны, контактирующей с водородом, была обнаружена щелочь.

Что касается содержания щелочи в кислороде, то, как показывают экспериментальные данные, оно практически не зависит ни от производительности электролизера, ни от давления. Очевидно, это является следствием того, что в использованном электролизере анод работает в псевдосухо́м режиме, и прямого поступления электролита в него нет.

Специальный эксперимент был посвящен определению формы щелочи, находящейся в электролитическом водороде. Для этого выходящий из электролизера водород предварительно пропусклся через холодильник, в котором температура уменьшалась до 3 - 4 °С с целью конденсации насыщающих его паров воды, а затем через фильтр. Результаты определения количества щелочи в конденсате паров воды и на фильтре показали, что только около 20 % щелочи находится в воде, в то время как на фильтре были собраны остальные 80 %. Таким образом, большая часть щелочи в электролитическом водороде находится в виде аэрозоля.

3. Результаты экспериментов и их обсуждение

Результаты экспериментов по определению эффективности очистки водорода представлены в табл. 2. При выборе потока воды (L_{H_2O}) руководствовались следующим. Поскольку задачей работы является очистка электролитического водорода, исходили из суммарного потока воды, необходимого для подпитки электролизера для компенсации расхода воды в электролите. Так, при потоке водорода $0.38 \text{ нм}^3/\text{ч}$ для его получения необходимо $305 \text{ см}^3/\text{ч}$ воды. Поскольку очистке подлежит как поток образующегося водорода, так и поток кислорода, это количество должно быть распределено в соотношении 2:1. Поэтому при указанном потоке водорода в колонну подавали примерно $200 \text{ см}^3/\text{ч}$ воды. Все эксперименты, результаты которых представлены в таблице, проведены при комнатной температуре в колонне (293 - 296 К).

Таблица 2.

Результаты экспериментов по очистке водорода в противоточной колонне, орошаемой водой

G_{H_2} , $\text{нм}^3/\text{ч}$	U^* , м/с	L_{H_2O} , $\text{см}^3/\text{ч}$	H^{**} , м	$C^0_{\text{кон}}$, $\text{мкг}/\text{нм}^3$	$C^K_{\text{кон}}$, $\text{мкг}/\text{нм}^3$	$K = C^0_{\text{кон}} / C^K_{\text{кон}}$
Пленочный режим работы колонны						
0.22	0.20	120	0.23	320	200	1.6
Затопленный режим работы колонны						
0.22	0.20	120	0.23	330	110	3.0
0.38	0.34	200	0.23	120	42	2.9
0.22	0.10	120	0.98***	280	25	11.2
Затопленный режим работы колонны + распылитель потока водорода						
0.22	0.10	120	0.98***	315	6,3	50
0.38	0.17	200	0.98***	100	6,4	15.6
0.38	0.17	200	0.22***	90	6,8	13.3
То же, но без насадки в колонне						
0.38	0.17	200	0.22***	85	7,9	10.7

Примечание: *- линейная скорость газа в колонне, ** - высота рабочего слоя в колонне, ***- колонна диаметром 28 мм

В большинстве экспериментов, за исключением последнего, колонна заполнялась мелкой стальной спирально-призматической насадкой с размером элемента 2 x 2x0.2 мм, предварительно обработанной с целью увеличения ее смачиваемости. В начале и конце каждого эксперимента определяли содержание щелочи в исходном водороде. В табл. 2 приведена средняя величина ($C_{\text{КОН}}^0$). Значение $C_{\text{КОН}}^{\text{К}}$ соответствует содержанию щелочи в выходящем из колонны водороде.

Из приведенных данных можно сделать следующие выводы:

1. Очистка водорода в пленочном режиме орошения колонны мало эффективна: концентрация щелочи в водороде уменьшается всего в 1.6 раза.

2. Затопленный режим работы колонны приводит к увеличению эффективности очистки. При этом степень очистки практически не зависит от потока водорода, но увеличивается при росте высоты затопленного слоя.

3. К существенно большему повышению эффективности очистки приводит использование на входе газа в колонну мелкопористого керамического распылителя (диаметр 20 мм, высота 30 мм), позволяющего получить мелкие пузырьки водорода. При таком режиме подачи газа насадка, заполняющая затопленную колонну, играет малую роль (см. последний опыт в табл. 2).

4. В экспериментах, проведенных с использованием распылителя, величина $C_{\text{КОН}}^{\text{К}}$ практически не зависит от условий проведения очистки. В частности, уменьшение высоты затопленного слоя в 4.5 раза в пределах погрешности не изменяет ее величины (6.4 и 6.8 мкг КОН на 1 нм³ водорода).

Последний результат требует обсуждения. С нашей точки зрения, это содержание щелочи в водороде является наименьшим, которого можно достигнуть при отмывке электролитического водорода в противоточной

затопленной колонне при использованных температурах (293 – 296 К), и последующая его очистка возможна только с использованием фильтра тонкой очистки.

В табл. 3 представлены экспериментальные данные, полученные при очистке кислорода. При их сравнении с результатами, приведенными в табл. 2. можно видеть, что в сопоставимых условиях очистка кислорода проходит менее эффективно, чем водорода. Однако использование затопленного режима работы колонны и распылителя потока кислорода на его входе в колонну позволяют достигнуть достаточно низкого остаточного содержания щелочи, которая далее может быть удалена с помощью фильтра тонкой очистки.

Таблица 3.

Результаты экспериментов по очистке кислорода в противоточной колонне, орошаемой водой

G_{O_2} , нм ³ /ч	U^* , м/с	L_{H_2O} , см ³ /ч	H^{**} , м	$C^0_{кон}$, мкг/нм ³	$C^K_{кон}$, мкг/нм ³	$K = C^0_{кон} / C^K_{кон}$
Затопленный режим работы колонны						
0.11	0.10	80	0.23	100	50	2.0
0.19	0.17	120	0.23	80	48	1.7
0.19	0.17	120	0.12	70	42	1.7
Затопленный режим работы колонны + распылитель потока кислорода						
0.19	0.09	120	0.90***	70	11	6.4

Примечания: *- линейная скорость газа в колонне, ** - высота рабочего слоя в колонне, ***- колонна, диаметром 28 мм.

Специальные эксперименты были проведены с целью определения содержания щелочи при использовании комплексной схемы очистки: противоточная колонна + фильтр тонкой очистки.

В ходе первого из них через систему очистки, приведенную на рис. 1. было пропущено 14 м³ водорода. Колонна работала при температуре 295 К, давление в электролизере - 0.1 МПа, а его производительность - 0.38 м³/ч. После окончания эксперимента было определено количество

щелочи, содержащееся на втором фильтре тонкой очистки (поз. 8 на рис. 1). Результаты анализа показали, что содержание щелочи на нем ниже предела обнаружения. Это означает, что содержание щелочи в прошедшем через него водороде ниже 0.4 мкг/м^3 .

Второй эксперимент был проведен при температуре в колонне 283 К и сохранении всех прочих условий. Всего во втором эксперименте было очищено 10.3 м^3 водорода. После его окончания уже на первом фильтре тонкой очистки было обнаружено только 6.4 мкг щелочи, что соответствует содержанию щелочи на выходе колонны 0.62 мкг/м^3 . При этом количество щелочи на втором фильтре было значительно ниже предела обнаружения (потенциал ионселективного электрода был близок к его потенциалу в дистиллированной воде). Результат этого эксперимента показывает, что снижение температуры в колонне ниже комнатной приводит к значительному увеличению степени очистки. По нашему мнению, возможной причиной этого является конденсация паров воды в пузырьках водорода, входящего в колонну при температуре $295 - 298 \text{ К}$, при его охлаждении водой с температурой 283 К . Этот процесс, очевидно, приводит к увеличению размера частиц аэрозоля щелочи, находящихся в водороде, и повышению вероятности их перевода из водорода в воду.

Таким образом, проведенная работа показала возможность глубокой очистки генерированных в щелочном электролизере газов с использованием комбинированной схемы противоточная колонна-фильтр тонкой очистки.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОВОЛОКНИСТЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ФП, СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИСТИРОЛ, С ОЗОНОМ.

Климук А.И., Обвинцева Л.А., Шепелёв А.Д., Ушакова Е.Н.,
Кучаев В.Л., Томашпольский Ю.Я., Садовская Н.В., Козлова Н.В.,
Дмитриева М.П., Аветисов А.К.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

Ключевые слова: фильтры Петрянова, озон.

В связи с широким применением озона в химической и целлюлозно-бумажной промышленности, в микроэлектронике, водоочистке и медицине актуальной является разработка методов уничтожения избыточного озона, в том числе для средств индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания (СИЗОД и СКЗОД) при превышении ПДК озона в воздухе. Для уничтожения озона применяют разнообразные циклические полимеры: полиариленовые эфиры и серосодержащие полимеры [2], тиоэфиры [3, 4], ненасыщенные полициклоолефины, а также нонборнен и его высшие гомологи: нонборнодиен и дициклопентадиен [5]. В качестве нециклических полимеров предлагаются полиэтилен и полипропилен [3, 4].

Преимуществами использования волокнистых материалов являются их малое гидродинамическое сопротивление, развитая поверхность, равнодоступная для молекул озона, комнатные рабочие температуры. В настоящее время волокнистые фильтрующие материалы используются для улавливания аэрозольных частиц. Широкое распространение получили выпускаемые в промышленных масштабах полимерные микроволокнистые материалы ФП – фильтры Петрянова [6, 8]. Они доступны и недороги.

Практический интерес представляло выявление возможностей использования фильтров Петрянова для уничтожения озона. Цель данной работы - подобрать материал, активно нейтрализующий озон.

Экспериментальная часть

Были исследованы материалы ФП, выпускаемые промышленностью: ФПА-15-2.0, ФПСАН-70-0.5, ФПП-70-0.5 и опытные материалы: ФПАН-10-3.0 и ФПС-15.

Все образцы ФП, были изготовлены методом электроформования [6 - 8]. Поверхность образцов определяли методом БЭГ по адсорбции криптона с использованием стандартной методики [9]. Характеристики исследованных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Характеристики исследованных фильтрующих материалов

Материал *	Состав	Средний диаметр волокна, мкм.	Плотность упаковки, %	Поверхность, м ² /г
ФПП-70-0.5 ¹⁾	Хлорированный поливинилхлорид	5 - 7	2.5	0.7
ФПА-15-2.0 ¹⁾	Диацетат целлюлозы	1.4	2.5 - 3	1.3
ФПАН-10-3.0 (опытный)	Полиакрилонитрил	1.0	3 - 4	не измерялась
ФПСАН-70-0.5 ²⁾	Сополимер стирола с акрилонитрилом	5-7	2 - 4	0.67
ФПС-15 (опытный)	Полистирол	1.5	3	1.83

Примечания: * числа в обозначении фильтра указывают средний диаметр волокна в десятых долях мкм и сопротивление потоку воздуха в мм вод. ст. при скорости 1 см/с.

¹⁾ изготовитель: Московская обл., г. Электросталь, ЭХМЗ.

²⁾ изготовитель: Эстония, г. Силламяэ, Эсфил.

Для изучения гибели озона на микроволокнистых материалах

использовали проточный метод. Газ с известным содержанием озона проходил через трубку диаметром 0.6 см, заполненную исследуемым материалом. По изменению содержания озона на выходе из трубки определяли количество уничтоженного озона. Исходная масса исследуемых образцов составляла 0.2 г при длине забивки 5 - 7 см. Озон получали электролизным методом, разработанным в НИФХИ им. Л.Я. Карпова [10]. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

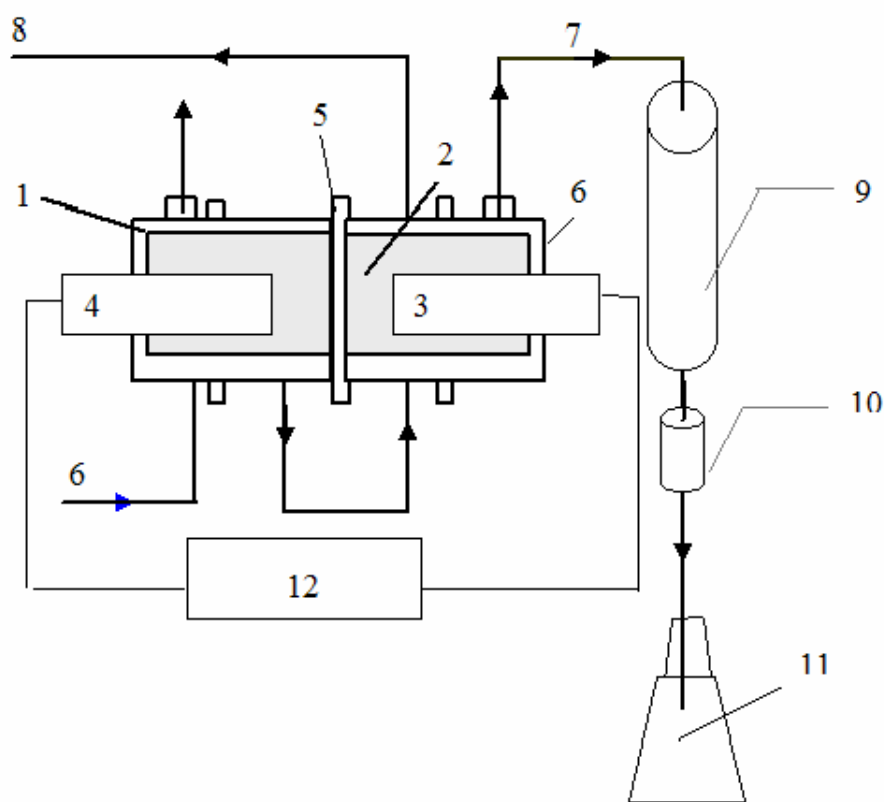


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 – электролизер; 2 – раствор электролита NaClO_4 (6N); 3 - Pt электрод;
 4 - Ni электрод; 5 - МФ4СК (перфорированная ионообменная мембрана); 6 - рубашка;
 7 – $\text{O}_3 + \text{O}_2$ (газ); 8 – H_2 (газ); 9 – фторопластовая трубка с исследуемым материалом;
 10 - оптическая кювета; 11 – раствор KI (0.05N).

Электролизер (1) изготовлен из молибденового стекла. В качестве электролита использовали раствор NaClO_4 . Анодом служил Pt-электрод (3), катодом – Ni-электрод (4). На Pt-электроде выделяется кислород,

содержащий озон, на Ni-электроде - водород. Анодное и катодное пространства разделены ионообменной мембраной (5). Во избежание разогрева электролита используется охлаждение (6) электролизера водопроводной водой. Из электролизера кислород, содержащий озон, поступает во фторопластовую трубку с исследуемым материалом (9), затем проходит оптическую кювету (10) и попадает в колбу с раствором KI (11).

Для соединения частей установки использовали трубки из фторопласта. На этом материале потери озона незначительны, он имеет небольшой коэффициент гетерогенной гибели озона [1, 11]. Используемые в экспериментах трубки в течение часа обрабатывали озоном для их пассивации.

УФ-спектроскопию использовали для идентификации озона и проверки наличия примесей в газовом потоке. УФ-спектр образующегося озона, измеренный на УФ- спектрометре «Perkin Elmer» в диапазоне 200 - 400 нм, приведен на рис. 2. В указанном диапазоне спектра присутствует только характерная полоса поглощения озона с максимумом 254 нм (2540 Å, полоса Хартли [12]). Из рис. 2 также следует, что при проведении электролиза NaClO_4 не образуется диоксид хлора (максимум поглощения 360 нм (3600 Å) [12]).

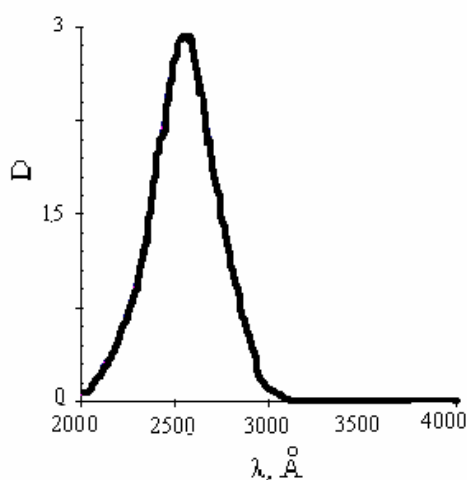


Рис. 2. Измеренный в данной работе УФ-спектр поглощения озона, полученного электролизом раствора NaClO_4 .

Опыты проводили при токе через электролизер 510 мА. Поток озонородной смеси при этом составлял 2.0 ± 0.1 мл/мин. Концентрация озона при указанном токе через электролизер равна 30 ± 2 г/м³ или около 1.5 % объемных. Указанная погрешность определения концентрации озона обусловлена нестабильностью тока через электролизер при стабилизированном напряжении на электродах. При поглощении озона раствор KI становился желтым, а затем коричневым. В ходе опытов раствор оттитровывали, ориентируясь по изменению цветности.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 приведены зависимости от времени средней концентрации озона (за время отбора пробы) на выходе из трубки. На кривой 1 показана концентрация озона на выходе из пустой трубки. Видно, что при работе с материалами ФПСАН-70-0.5 и ФПС-15 на выходе из трубки озон отсутствует 6 - 7 ч. Для фильтра ФПАН-10-3.0 концентрация озона на выходе из трубки такая же, как при работе с пустой трубкой. Для фильтров ФПП-70-0.5 и ФПА-15-2.0 наблюдается значительная концентрация озона на выходе, однако она существенно ниже концентрации, наблюдаемой при работе с пустой трубкой.

На основании представленных данных все исследованные материалы можно разделить на три группы: инертные к воздействию озона, на которых конверсия озона в течение рабочего дня была менее 10 %; активные, обеспечивающие конверсию озона более 90 %, и материалы с промежуточной активностью. На них наблюдается снижение конверсии озона в течение первых часов работы.

Наиболее активными в отношении уничтожения озона являются материалы на основе полистирола ФПСАН-70-0.5 и ФПС-15. Материал ФПС-15 был выбран для дальнейших исследований как наиболее активно нейтрализующий озон.

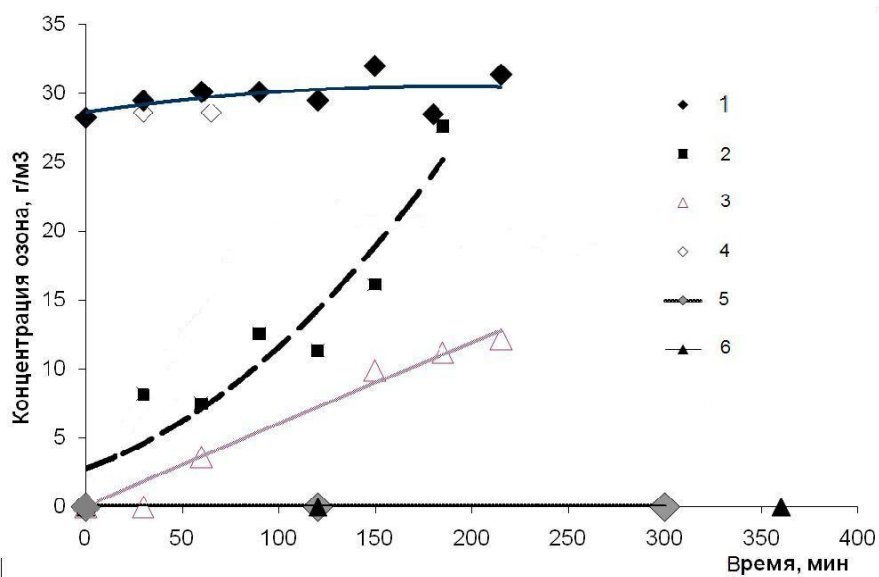


Рис. 3. Зависимости концентрации Оз после прохождения слоя материала от времени. 1 – пустая трубка; 2 – ФПП-70-0.5; 3 - ФПА-15-2.0; 4 - ФПАН-10-3.0; 5 – ФПС-15; 6 - ФПСАН-70-0.5.

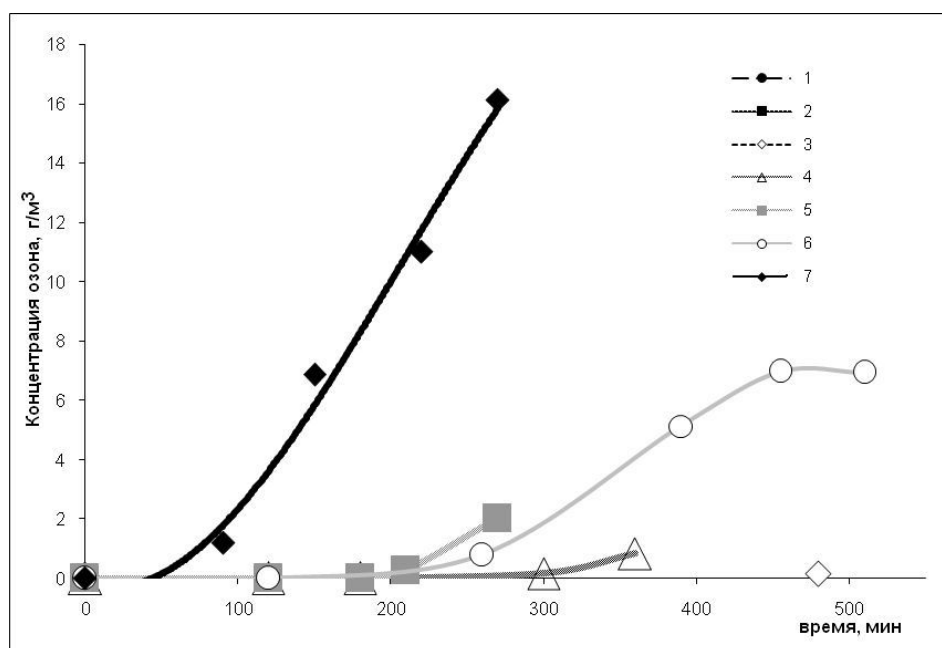


Рис. 4. Зависимость концентрации Оз после прохождения слоя ФПС-15 от времени. Цифры у кривых - № опытов.

Результаты семи последовательных опытов с материалом ФПС-15 представлены на рис. 4. Видно, что в течение первых трех опытов фильтр уничтожал весь подаваемый на него озон. В конце четвертого опыта на

выходе из трубки появилась измеряемая концентрация озона (кривая 4). В начале пятого опыта конверсия озона в течение 4 ч была около 100 %, но к концу опыта упала до 80 % (кривая 5). Похожая картина наблюдалась и в следующих опытах. В конце седьмого опыта конверсия упала до 50 %.

Полученные результаты показывают, что происходит как необратимое, так и обратимое уменьшение активности полимера в отношении уничтожения озона. Необратимое отравление происходит из-за химических реакций между полимером и озоном с разрывом химической связи в полимере [13, 14]. Обратимость отравления может быть обусловлена образованием поверхностных промежуточных кислородсодержащих соединений, препятствующих адсорбции озона. При перерыве в работе эти соединения частично разрушаются.

Поверхность фильтра ФПС-15 до и после обработки озоном исследовали с помощью атомно-силовой (АСМ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

На рис. 5 сопоставлены снимки поверхности образца ФПС-15 до и после обработки озоном, полученные с помощью РЭМ. Структура обработанного озоном образца отличается от исходной по форме и размеру волокон. У исходного образца волокна в основном имеют лентовидную форму, их поперечный диаметр составляет 1.5 - 4 мкм.

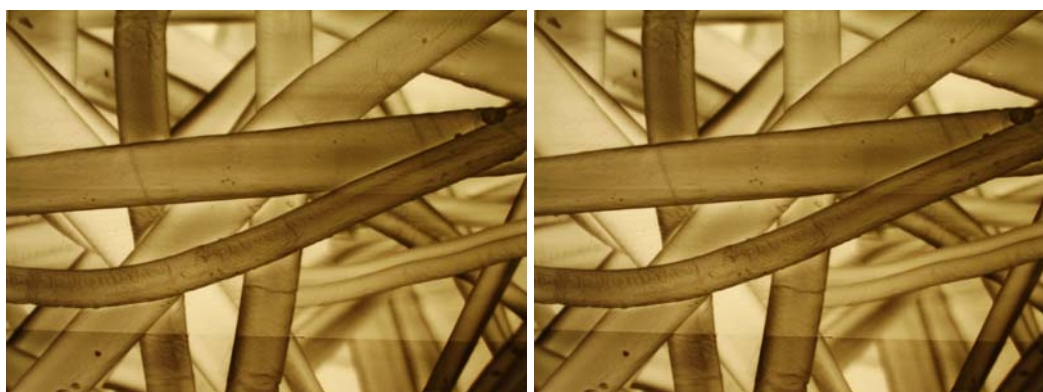


Рис. 5. Снимки с помощью РЭМ поверхности ФПС-15 до (слева) и после (справа) обработки озоном.

Поперечный размер волокон после обработки озоном уменьшился до 0.5 - 2.5 мкм. На поверхности волокна видны округлые образования. С помощью АСМ можно рассмотреть округлые образования при большем увеличении.

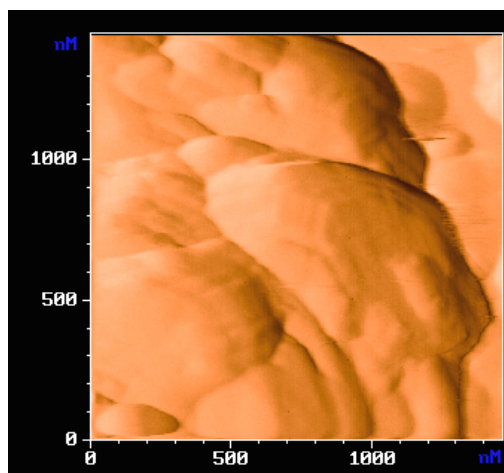


Рис. 6. Снимок с помощью АСМ участка ФПС-15 после обработки озоном.

Таким образом, при взаимодействии с озоном поверхность волокон материала ФПС-15 сильно изменяется. В результате окисления (при концентрации озона 1.5 % и длительности обработки более 40 ч) толщина волокна уменьшается примерно в два раза. Форма волокна перестает быть лентовидной.

С целью определения изменения химического состава полистирола в результате взаимодействия с озоном был использован метод ИК Фурье спектроскопии. Сопоставление полученных спектров приведено на рис. 7.

Из спектров видно, что в результате взаимодействия волокон фильтра с озоном значительно снижается количество как насыщенных, так и ненасыщенных углеводородных связей по сравнению с исходным образцом. Появляется широкая полоса в области 1750 см^{-1} , характерная для различных $\text{C}=\text{O}$ групп [16, 17]. Полученные данные согласуются с [13], где исследовано взаимодействие озона с порошком полистирола.

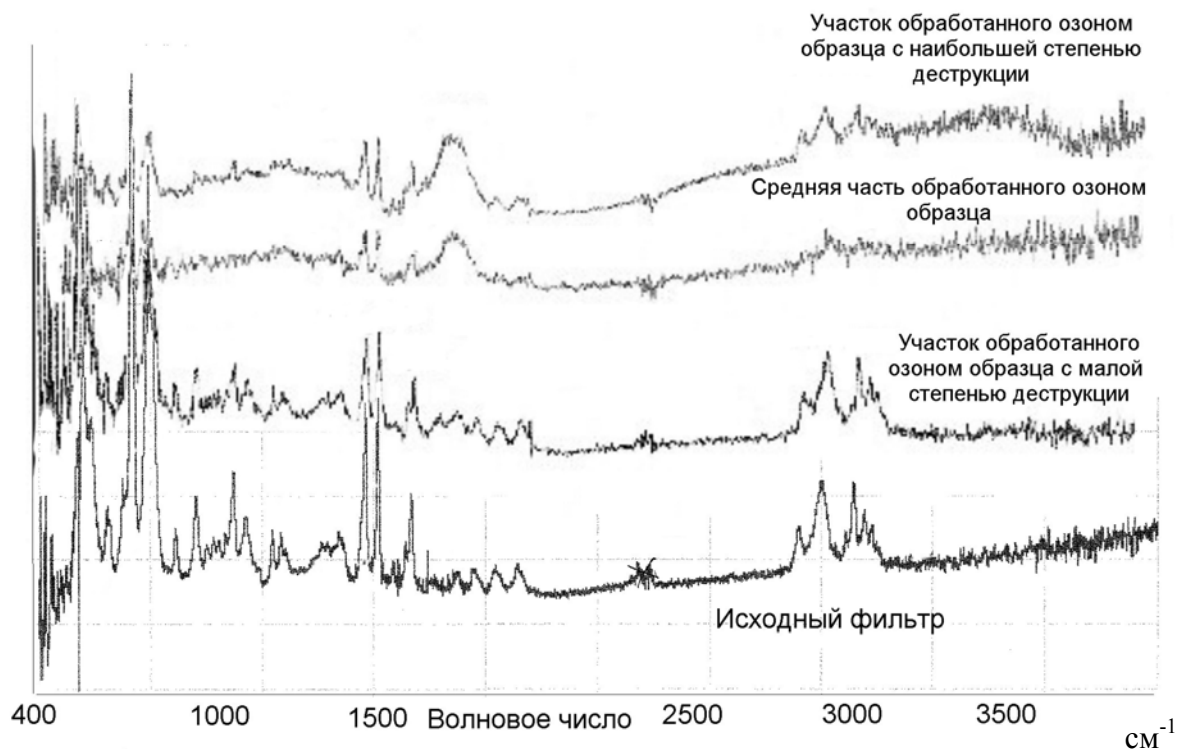


Рис. 7. ИК спектры образцов материала ФПС-15 после различной обработки озоном.

По результатам ИК-спектроскопии можно заключить, что озон при комнатной температуре в концентрации 1.5 % глубоко окисляет полистирол вплоть до разрушения бензольных колец. Также подтверждается предположение об образовании поверхностных кислородсодержащих соединений.

Самостоятельной задачей настоящего исследования являлась идентификация веществ в газовой фазе, образующихся в результате взаимодействия волокон материала ФПС-15 с озоном, и оценка их токсичности. Результаты анализа образца ФПС-15 методом ИК Фурье спектроскопии показаны на рис. 8. В первом из трех последовательных опытов (после 6 ч обработки образца ФПС-15 озоном) в газовой фазе присутствуют следы озона и небольшое количество диоксида углерода.

Характеристические полосы этих веществ: CO_2 – 2350. 675 см^{-1} ; O_3 - 1110 см^{-1} [16, 17]. Во втором опыте (после 10.5 ч обработки образца

ФПС-15 озоном) появляются следы органических веществ. По данным ИК спектров третьего опыта (после 17 ч обработки образца ФПС-15 озоном) можно идентифицировать характеристические полосы следующих органических веществ: фенилацетат $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OC}_6\text{H}_5$ – 1780, 1210, 920, 3050 cm^{-1} [16, 17]; метилформиат $\text{HC}(\text{O})\text{OCH}_3$ – 1750, 1200, 920, 2950 cm^{-1} [16, 17]. К тому же присутствуют значительные количества озона и диоксида углерода. Точная количественная оценка в данном случае не проводилась.

Токсичность идентифицированных веществ: $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ в воздухе рабочей зоны для метилформиата - 0.2 $\text{мг}/\text{м}^3$ (3 класс опасности) [18]; ЛД_{50} фенилацетата - 16,3 $\text{мг}/\text{м}^3$ [19]. Для сравнения: $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ в воздухе рабочей зоны для озона составляет 0.16 $\text{мг}/\text{м}^3$ [18]. Таким образом, токсичность газообразных продуктов взаимодействия микроволокнистого фильтрующего материала ФПС-15 с озоном ниже токсичности самого озона.

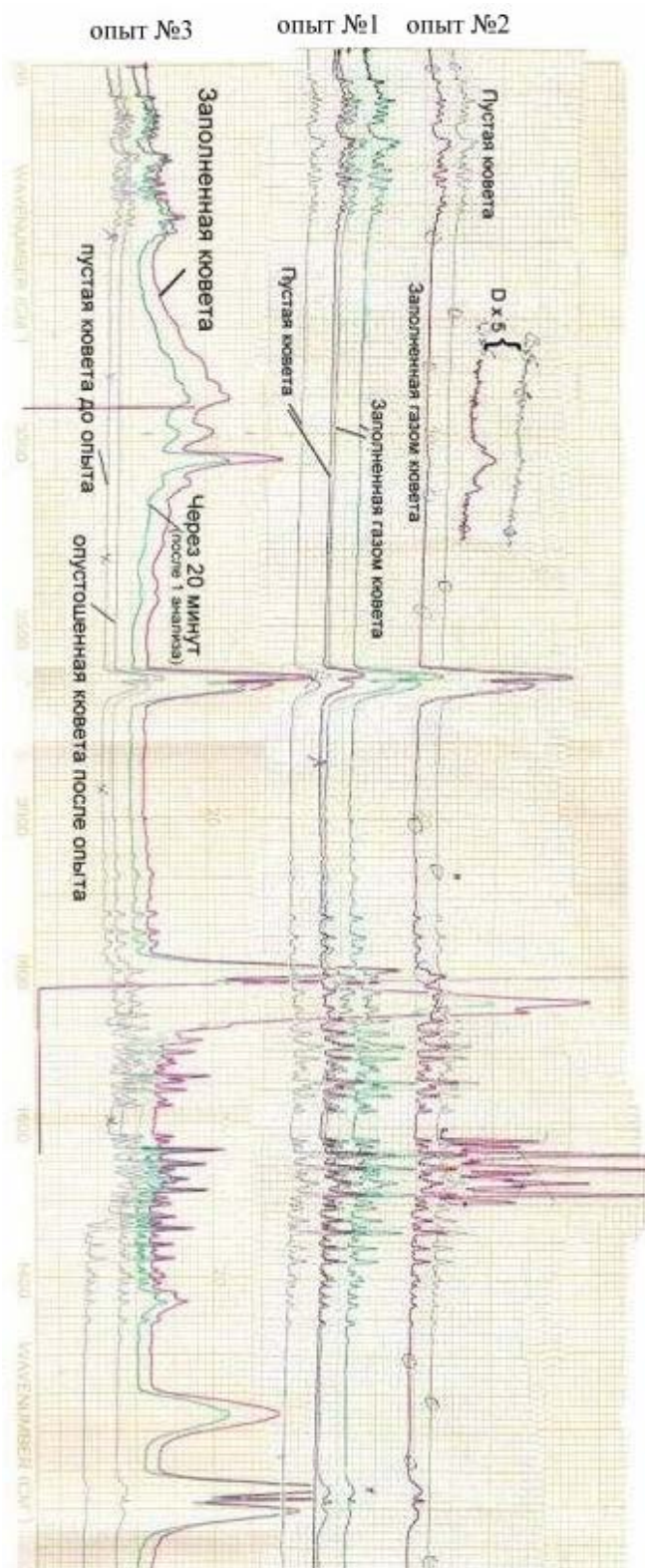


Рис. 8. ИК спектр газовой фазы на выходе из трубки, заполненной ФПС-15. при разной длительности обработки образца озоном.

Выводы

1. Установлено, что микроволокнистый фильтрующий материал ФПС-15 на основе полистирола обладает высокой активностью в отношении уничтожения озона.

2. Под влиянием озона активность фильтрующего материала уменьшается, в отсутствие озона происходит частичное восстановление активности.

3. Структура волокон материала ФПС-15 после длительной обработки озоном (более 40 ч) изменяется: уменьшается поперечный размер волокна, и форма волокна теряет лентовидный характер.

4. При длительной обработке материала ФПС-15 озоном (более 16 ч) не образуются вещества, токсичность которых выше токсичности озона.

Авторы выражают благодарность Э.М. Касаткину и Н.Ф. Потаповой за предоставленную методику получения и титрования озона и подробные консультации при выполнении работы.

Авторы благодарят Международный научно-технический центр за финансовую поддержку работы (грант 3288)

Литература

1. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. – М.: Изд. Московского университета, 1998. 480 с.

2. Pat. 5 837 036 US, US Cl. 95/138; 95/144; 95/146; 96/132; 96/135. Process and filter for removing organic substances and ozone from gases.

3. Pat. 5 593 594 US, US Cl. 210/660; 210/679. Filter material and process for removing ozone from gases and liquids.

4. Pat. 5 853 457 US, US Cl. 95/138; 210/266; 210/660; 210/767; 210/807; 210/96.1; 96/108; 96/111. Filter material and process for removing ozone from gases and liquids.

5. Pat. 5 976 471 US, US Cl. 422/122; 422/168; 422/171; 428/113; 428/131; 55/527; 55/5. Ozone decomposing filter.

6. И.В. Петрянов, В.И. Козлов, П.И. Басманов, Б.И. Огородников. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М.: Знание, 1968 г. 79 с.

7. Filatov Yu., Budyka A., Kirichenko V. Electrospinning of micro- and nanofibers: fundamentals and applications in separation and filtration processes / - N. Y.: Begell House Inc publ., 2007. 404 p.

8. Ю.Н. Филатов. Электроформование волокнистых материалов (ЭВФ-процесс), - М.: Нефть и газ, 1997. 297 с.

9. Г.Е. Брауде, Т.А. Семенова, М.И. Маркина. Измерение удельной поверхности катализаторов методом низкотемпературной адсорбции криптона. Химия и технология азотных удобрений. Труды, вып. 12. М.: ГНТИ химической литературы, 1961. С. 67-75.

10. Ф. Потапова, А.А. Раков. // Электрохимия. Т. 7, № 4, 1971 г. С. 537-540.

11. Obvintseva L.A., Chibirova F.Ch., Kazakov S.A. et al // Sensors. 2003. V. 3. P. 504.

12. Окабе Х. Фотохимия малых молекул. М.: Мир, 1981 г. 500 с.

13. Разумовский С.Д., Заиков Г.Е. Озон и его реакции с органическими соединениями (кинетика и механизм). М.: Наука, 1974. 322 с.

14. Разумовский С.Д. Кислород – элементарные формы и свойства. М.: Химия, 1979. 302 с.

15. Будыка А.К., Полезов В.Н., Шепелёв А.Д. Сорбционно-фильтрующий материал из карбонизованных волокон. Аэрозоли и безопасность – 2005., Сборник тезисов докладов Межд. научно-практ. конф., г. Обнинск, 24-28 октября 2005 г.- Обнинск: ФГОУ «ГЦИПК», 2005. 332 с.

16. Инфракрасная спектроскопия полимеров. Под ред. И. Деханта. ГДР, 1972. Пер. с нем., под ред. Э. Ф. Олейника. М.: Химия, 1976, 472 с.

17. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-спектры комбинационного рассеяния и инфракрасного поглощения полимеров. Спр-к. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 656 с.

18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. ГН 2.1.6.1338-03.

19. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде. Изд. 2. пер. и доп. Л.: Химия, 1975. 456 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ФП ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ

Садовский Б.Ф., Шепелёв А.Д.

ГНЦ РФ НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10.

Ключевые слова: фильтрующий материал, очистка жидкостей.

Одной из областей применения фильтрующих материалов ФП является очистка жидкостей от дисперсных примесей. Достаточно широкий диапазон диаметров полимерных волокон, которые могут быть получены в процессе электроформования (от десятка микрон до десятков нанометров) позволяет создавать фильтрующие материалы для тонкой и сверхтонкой очистки жидкостей. Учитывая, что волокнистые материалы могут быть изготовлены из самых разнообразных полимеров [1], их можно применять в различных технологических процессах (в том числе для очистки агрессивных жидкостей) в широком диапазоне температур [2 - 4]. Верхняя граница температур определяется свойствами полимера, нижняя лежит в области абсолютного нуля. Это подтвердили эксперименты с жидким гелем. Однако волокна материала не должны быть скреплены в местах пересечений [3].

Материалы ФП - пористое тело, пронизанное для газов и жидкостей. Они состоят из равномерно распределенных по площади и толщине слоя бесконечных по длине ультратонких полимерных волокон. Волокна расположены в двухмерном беспорядке с малой плотностью упаковки (0.02 - 0.15). Поры в таком материале представляют собой промежутки между волокнами. Стандартное геометрическое отклонение среднего диаметра пор, например, для материала типа ФПП-Д, равно 1.48, что характеризует достаточно высокую степень однородности этого материала [3]. Жидкость проходит через слой материала не только по направлению

потока жидкости, но и поперек его в промежутках между волокнами. Отделение частиц гидрозолей от жидкости происходит преимущественно за счет ситового эффекта и зацепления.

По своей структуре эти волокнистые материалы относятся к глубинным фильтрам, они задерживают дисперсную фазу всем своим объемом. Это свойство, а также возможности процесса электроформования, позволяют создавать фильтрующие материалы с большой емкостью по осадку, иногда это свойство называют «грязеемкостью». Для увеличения этого параметра материал изготавливается из волокон различного диаметра, который уменьшается в направлении движения потока жидкости. Фильтрующие материалы, имеющие подобную структуру, могут быть использованы в фильтрах, предназначенных для очистки больших объемов жидкости. Этот прием, естественно, известен и использование предфильтров широко распространено, но в случае материалов ФП это может быть реализовано в одном изделии [3 - 5].

Традиционно, фильтрующие материалы ФП, использовались в качестве предфильтров, однако, в ряде случаев, разработанные в последнее время материалы, состоящие из ультратонких волокон, могут использоваться для финишной очистки жидкостей [5, 6].

Производительность фильтрующих материалов ФП с тонкостью фильтрации не ниже 1 мкм, как правило, выше, чем у керамических и мембранных фильтров с аналогичной тонкостью фильтрации. Однако, когда тонкость фильтрации ниже 1 мкм производительности материалов ФП и мембранных фильтров становятся сопоставимы.

Это объясняется тем, что для сохранения неизменной структуры материала в процессе фильтрации, а, следовательно, и её свойств, необходимо скреплять волокна между собой. Это приводит к структуре

близкой к мембранным фильтрам, что особенно выражено для субмикронных волокон. Характеристики материалов приведены ниже [6].

Марка материала	Тонкость фильтрации, мкм	Производительность по воде при давлении 0.2 атм, мл/(мин·см ²)	Размер максим. поры, мкм	Размер средней поры, мкм
ФПП-15-1.5А	3 - 7	39	7.8	3.7
ФПП-Д-4	7 - 9	45	11.8	3.8
ФПП-Д-2	7 - 9	53	12	4
ФПП-3/20-3.0	1.5	28	3.3	0.9
ФПФ26-15-10	0.6	30	2.3	0.5
ФПФ26-4	0.4	4	1.0	-
ФПФ26-2	0.35 - 0.21	2.5	0.6	-
ФПФ42-2/10-Ж	0.5	42 (0.5 МПа)	1.8	0.5
ФПФ42-4/10-Ж	1.0	25(0.5 МПа)	2.3	0.9
ФПФ42-10-Ж	3.0	12	5.4	2.2

Как видно из таблицы, тонкость фильтрации волокнистого материала на прямую зависит от диаметра волокон и плотности упаковки. Для материалов с плотностью упаковки от 8 до 15 %, что характерно для диаметра волокон от 1.0 до 0.2 мкм, с соединением (склеиванием) волокон в точках контакта, соответствующая тонкость фильтрации реализуется при толщине волокнистого слоя равной 100 - 140 элементарным слоям. Однако для практического использования необходимы более толстые слои, что связано с механической прочностью фильтрующего материала. Из приведенных данных также следует, что использование многослойных материалов приводит к уменьшению размера максимальной поры, что связано с их перекрытием. Этот эффект объясняется тем, что количество максимальных пор составляет не более 1 - 2 на см².

Фильтры из материалов ФП чаще всего применяют для жидкостей с концентрацией частиц 1 - 3 мг/л. При больших концентрациях достаточно быстро образуется плотный слой осадка на лобовой поверхности фильтра, что приводит к повышению сопротивления и резкому снижению

производительности фильтра. Экспериментально установлено, что пропускная способность фильтрующих материалов ФП уменьшается в два раза при плотности отфильтрованного осадка, равной 50 – 60 % массы единицы площади самого материала [3]. Фильтрующий материал ФП в основном не регенерируется, но обладает очень важным свойством не загрязнять фильтрат обрывками волокон, в отличие от ультратонких стеклянных и базальтовых волокон и асбестоцеллюлозных композиций.

Основные фильтрующие материалы изготавливают из перхлорвинила, различных фторопластов и полисульфона. Для придания материалам определенных свойств, в процессе получения в их структуру можно вводить волокна различного диаметра, изготавливать слоистый материал с защитными наружными слоями, закрепленными в местах контакта волокон друг с другом, и рыхлым объемным слоем внутри пакета.

Для придания гидрофильных свойств материалы ФП из фторопластов или перхлорвинила обрабатывают растворами ПАВ, спиртами или другими реагентами. Гидрофилизацию можно обеспечить введением в волокнообразующие растворы неионогенных добавок.

Материалы ФП из волокон с различными химическими свойствами и термо- и гидролитической стойкостью можно использовать для фильтрации многих жидкостей, в том числе агрессивных, в интервале температур от минус 196 до плюс 250 °С. Сам материал ФП может служить уплотнителем на стыках аппаратуры и обеспечивать герметизацию фильтрующего пакета в конструкции.

Материал ФПП-Д-4 широко применялся в фильтрах очистки авиационного топлива от различных дисперсных загрязнений и воды. Было предусмотрено отделение воды, растворенной в керосине, и вывод ее из фильтра. Такие фильтры применялись на мобильных заправщиках топлива на аэродромах и позволяли оперативно очищать керосин перед заливкой в баки летательных аппаратов. Для определения содержания растворенной

воды в авиационном топливе, на основе материала НЭЛ-4 разработан индикатор, который применяется во всех аэропортах страны [7, 8]. Он позволяет оперативно (перед заливкой в баки топлива) получать «пороговую» концентрацию растворенной воды.

Фильтрующий материал ФПФ-26 применялся для анализа и очистки синтетических масел авиационных двигателей дифференциально-магнитным методом с помощью прибора ПОЖ-7. Проведена подконтрольная эксплуатация в двух подразделениях вертолетов МИ-2 и МИ-8, которая показала, что метод позволяет определять неисправность двигателей на ранней стадии их развития, что значительно повышает безопасность полетов и эффективность использования летательных аппаратов [5, 9].

Модифицированный материал ФПП-3/20-3.0 применялся для фильтрации фоторезиста [10, 11]. Модификация позволила придать материалу из перхлорвинила необходимую стойкость для очистки фоторезиста, и в сочетании с финишным нуклеопорным фильтром увеличить время работы фильтрпатрона в несколько раз. Достигнутая степень очистки жидкостей в производстве интегральных микросхем позволила значительно увеличить выход годных изделий.

Для фильтрации эмульсий, проявочных растворов и лаков в производстве фотоматериалов и магнитных носителей использовали материалы ФПП-Д-2 и ФПФ-42/10ж [11]. Это значительно повышало качество фотоэмульсий и ее разрешение. Отработанные фильтрующие диски можно было легко и быстро заменять на новые без нарушения процесса полива эмульсии. Фильтровальные диски применялись в процессе изготовления фотопластинок для ядерных исследований и голографии [11].

Фильтрующие материалы из ацетилцеллюлозы использовались для фильтрации антисептических растворов. Разработанные материалы

ФПФ - 42/4ж предназначены для изготовления аналитических фильтров и фильтров очистки агрессивных жидкостей с целью улавливания и анализа твердой дисперсной фазы. В частности, фильтры из перхлорвинила использовались для анализа бактериологических препаратов путем отбора проб из жидких сред, просветления фильтра и микроскопического анализа.

Для осветления пищевых продуктов [12] применялись фильтрующие материалы ФПФ-42/10ж, ФПП-Д-2 и ФПП-Д-4. Есть промышленный опыт фильтрации вина, различных соков, а также подсолнечного и других пищевых масел. Успешно прошли испытания материала ФПП-Д-4 для фильтрации растворов желатина. Такой же материал использовался для фильтрации лака в производстве световодов из стекловолокна. Это обеспечивало значительное снижение потери светового потока.

Материалы ФПП-15 и ФПП-Д использовались в промышленных условиях при получении жидкого воздуха в процессе ректификации, для выделения азота и кислорода. Для фильтрации водопроводной воды (от солей железа и других механических примесей) использовались материалы ФПП-15, ФПП-Д и композиции из этих материалов на марлевой подложке в конструкциях бытовых очистителей и в фильтродержателях непосредственно на раздаточном кране.

По объему использования материалов ФП фильтрация жидких сред занимает примерно пятое место после респираторов, фильтров тонкой очистки воздуха, сепараторов ХИТ и аналитических фильтров [2, 6].

Литература

1. Филатов Ю.Н., Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). М.: Нефть и газ, 1997.
2. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. М.: Знание, 1968.

3. Садовский Б.Ф., Баберкина Г.И., Дружинин Э.А., Петрянов И.В. Хим. пром., 1970. № 5. с. 381.
4. Садовский Б.Ф., Дружинин Э.А., Петрянов И.В. Ж. прикл. химии. 1976, № 11. с. 2500.
5. Шепелёв А.Д. Физико-химические основы получения волокнистых материалов ФП из эластомеров для фильтрации жидкостей. Диссертация канд. хим. наук. НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 1985. 194 с.
6. Садовский Б.Ф., Шепелёв А.Д. Применение материалов ФП для фильтрации жидкостей. Шестые Петряновские чтения. Тезисы докл. НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 2007, с. 72.
7. Петрянов И.В., Титов И.В. и др. Индикаторный элемент. Авт. свид. СССР. № 306416.
8. Титов И.В., Говоров А.Т. Авт.свид. СССР. № 323719.
9. Морозов Л.Т., Дружинин Э.А., Глазова И.С., Шепелёв А.Д. Применение индикаторов из материалов ФП при эксплуатации авиационной техники. Материалы VII Всесоюзного симпозиума “Актуальные вопросы теории и практики получения и применения материалов ФП”. Москва, НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 1987.
10. Дружинин Э.А. Производство и свойства Фильтрующих материалов Петрянова из ультратонких полимерных волокон. М.: ИздАТ, 2007, 280 с.
11. Шепелёв А.Д., Садовский Б.Ф. Микрофильтрация жидкостей с использованием материалов ФП. Всесоюзный симпозиум “Актуальные вопросы теории и практики получения и применения материалов ФП”, Москва, НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 1987.
12. Садовский Б.Ф., Рыкунов В.А., Шепелёв А.Д. Применение тонковолкнистых нетканых материалов типа ФП для осветления пищевых продуктов. Труды Межд. научной конф. “Прогрессивные технологии и техника в пищевой промышленности”. Краснодар, сентябрь 1994, с. 183.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ФП

Котова С.В.², Люсова Л.Р.², Филатов Ю.Н.¹

¹ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова»

²МИТХТ им. М.В. Ломоносова

В настоящее время все более жесткие требования к клеевым соединениям диктуют необходимость использования принципиально нового подхода к созданию адгезионных композиций. Поэтому актуальной становится задача модификации полимерной основы клеев, в частности, создание привитых сополимеров, применения в клеях модифицирующих добавок, улучшающих как адгезионные, так и эксплуатационные характеристики, а также применение в качестве основы адгезионных композиций смесей полимеров.

Анализ литературы показывает, что особый интерес представляют адгезионные композиции на основе смесей хлор- и азотсодержащих полимеров.

Имеется большое количество данных по модификации хлоркаучуков азотсодержащими соединениями с целью обеспечения специфической адгезии, например, при склеивании резин из неполярных каучуков с металлами. Из работ [1, 2] известно, что модификация клеев на основе хлоркаучуков сополимерами бутадиена и винилпиридина (СКМВП) приводит к резкому повышению прочности связи на границе адгезив – резина из неполярных каучуков.

Известно, что винилпиридиновый и бутадиен-нитрильный каучуки могут взаимодействовать с хлорсодержащими полимерами по “ониевому” механизму с образованием соответственно солей пиридиния и солей нитрилия [3]. Эта реакция протекает без выделения побочных продуктов,

что позволяет избежать нарушения контакта между склеиваемыми материалами.

В данной работе исследуется возможность модификации адгезионных композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука (БНК) хлорированным поливинилхлоридом (ХПВХ). Применение этой модифицирующей добавки не является случайным. ХПВХ смешивается с бутадиен-нитрильным каучуком в любых соотношениях. Кроме того, известно, что атомы хлора в ХПВХ и азота в БНК участвуют в диполь-дипольном взаимодействии и между ними возможно образование водородных связей [4].

Модификация клеев на основе бутадиен-нитрильного каучука ХПВХ повышает когезионные свойства клеевой пленки, которая без хлорполимера невысока, что связано с неспособностью БНК к кристаллизации (рис. 1).

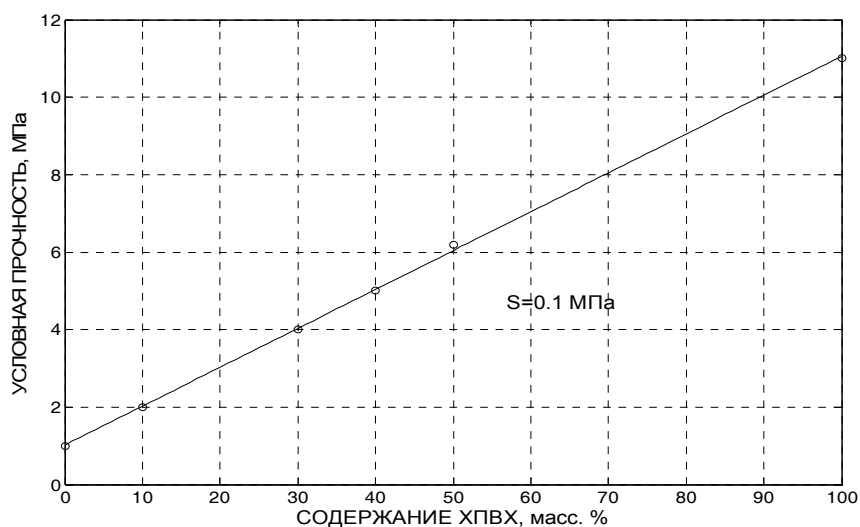


Рис. 1. Влияние содержания ХПВХ на когезионную прочность пленок.

Это является основным недостатком БНК по сравнению с такими широко используемыми в клеевом производстве каучуками, как полихлоропрены и полиуретаны. С другой стороны, ХПВХ способствует

также увеличению взаимодействия на границе раздела клеевая пленка – субстрат за счет функциональных групп, содержащих атомы хлора [5].

Из рис. 2 видно, что при содержании ХПВХ 65 - 80 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука происходит увеличение прочности связи на 30 %.

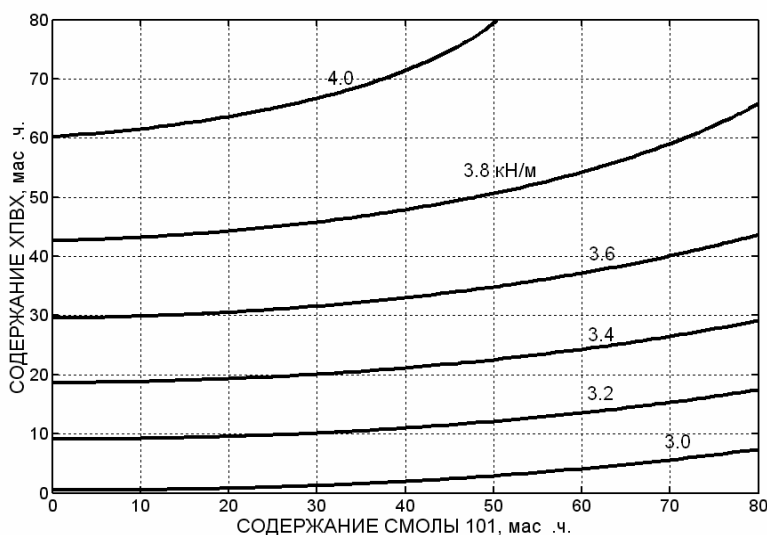


Рис. 2. Влияние содержания ХПВХ и смолы 101К на адгезионные свойства клеев из БНКС – 28 АМН.

Но при таком большом содержании ХПВХ клей становится достаточно дорогим. Найден альтернативный источник - отходы производства полимерных волокон методом электроформования, которые в настоящее время не утилизируются, а подвергаются захоронению в почве. Это создает существенные экологические проблемы. Использование этих отходов в адгезионных композициях снижает себестоимость последних и решает экологические проблемы [6].

Цель данной работы - рассмотреть возможность использования вместо ХПВХ отходов производства волокон методом электроформования.

На рис. 3 показана зависимость прочности связи от времени испытания для адгезионной композиции с ХПВХ и с отходом

производства волокон. Видно, что клеи, содержащие отходы, не уступают по свойствам клеям, содержащим исходный полимер.

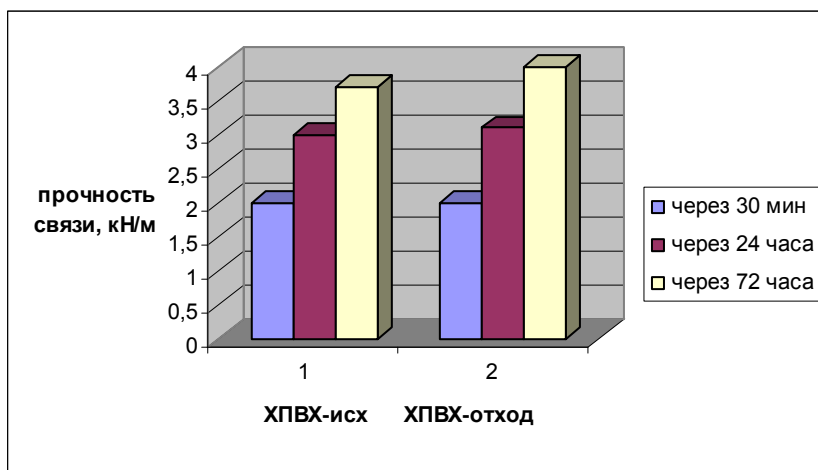


Рис. 3. Зависимость прочности связи адгезионного соединения от времени испытания.

Методом ИК–спектроскопии изучалась структура полимеров: ХПВХ – исходного и ХПВХ – отхода производства волокон методом электроформования. Объектами исследования были пленки, сформированные из растворов полимеров в этилацетате.

Анализ ИК-спектров показал, что в спектре отхода ХПВХ не обнаружено полос поглощения, отличных от исходного. Однако обнаружено различие в интенсивности полосы 1740 см^{-1} характеризующей наличие кислородосодержащих групп (карбонильных, карбоксильных и т.п.). Так, в исходном полимере интенсивность полосы поглощения составила 0.383, а для отхода – 0.983, что в 2.6 раза больше. Можно предположить, что под влиянием электрического поля происходит интенсификация процессов окисления.

Кроме того, была измерена прочность пленок ХПВХ и отхода, сформированных из раствора. По данному показателю полимеры не отличаются.

Таким образом, можно рекомендовать использование этого альтернативного источника ХПВХ для удешевления адгезионной композиции и для решения экологической проблемы утилизации отходов.

Система полимеров БНКС – ХПВХ послужила основой создания герметизирующих клеящих мастик. Положительными качествами материалов такого рода является не только доступность сырья, но и их хорошая озоностойкость, что необходимо при создании мастик, предназначенных для защиты трубопроводов, фундаментов зданий, кровель и других строительных конструкций.

Литература

1. Люсова, Л.Р. Физико-химические и технологические основы создания эластомерных композиций / Л.Р. Люсова: автореф. дис. докт. тех. наук: 05.17.06 / Люсова Людмила Ромуальдовна. – М., 2007. – 50 с.
2. Кошелев, Ф.Ф. Крепление резин к стали клеями на основе хлорнаирита / Ф.Ф. Кошелев, Н.С. Ильин, В.А. Глаголев // Вестник технической и экономической информации. – М.: НИИТЭХИМ. – 1961. – №9. – С. 55 – 58.
3. Берлин, А.А. и др. Об образовании солевых групп при взаимодействии поливинилхлорида с нитрильными и метилвинилпиридиновыми каучуками / А.А. Берлин [и др.] // Высокомолекул. соед. – 1964. – Т. 6, – № 9. – С. 1684–1688.
4. Гинзбург, Л.В. Исследование взаимодействия хлорсодержащих полимеров с полидиенами в присутствии аминов / Л.В. Гинзбург [и др.] // Высокомолекул. соед. – 1972. – Т. 14, – № 8. – С. 1667–1671.
5. Берлин, А.А. Основы адгезии полимеров / А.А. Берлин, В.Е. Басин – М.: Химия, 1974. – 392 с.
6. Филатов, Ю.Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс). Монография. М.: Нефть и газ, 1997. – 297 с.

РАЗРАБОТКА, ПРОМЫШЛЕННЫЙ ВЫПУСК, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРОВ АФА

Басманов П.И.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

Ключевые слова: материал ФП, аналитические фильтры аэрозольные (АФА), анализ, концентрация, радиоактивные аэрозоли.

Работы по использованию фильтрующего материала ФП в качестве средства анализа аэродисперсных примесей начались в лаборатории аэрозолей НИФХИ им. Л.Я. Карпова в 1948 - 1951 гг. Впервые образцы материала были применены для определения весовой концентрации атмосферной пыли в лабораторном помещении с помощью установки, представленной на рис. 1. Воздух, забираемый из помещения, проходил через фильтр (1) с рабочей поверхностью 25 см^2 , закрепленный в фильтродержателе (2), газовые часы (3) и поступал в водоструйный насос (4). Сопротивление фильтра определялось манометром (5), а эффективность – вторым (контрольным) слоем материала ФП, расположенным за основным. Скорость отбора воздуха регулировалась подачей воды на водоструйный насос и составляла ~ 5 л/мин. Отбор проб проводился в течение рабочего дня (7 - 8 ч), а взвешивание фильтров - через 2 - 3 недели. Проведено 14 опытов в разное время года при относительной влажности воздуха 45 – 80 %. опыты показали, что:

- фильтрующий материал ФПП-15-1.5 из гидрофобных перхлорвиниловых волокон со средним диаметром ~ 1.5 мкм и стандартным сопротивлением (при скорости 1 см/с) 1.5 мм вод. ст. пригоден для оценки весовой концентрации аэродисперсных примесей в воздухе,

- концентрация пыли в помещении находилась в пределах 0.1 - 0.2 мг/м³.

- один образец материала можно использовать до трех опытов,
- можно проводить взвешивание фильтра без длительной предварительной осушки до и после отбора пробы.

- при отборе пробы с расходом 5 л/мин сопротивление материала составляло ~ 5 мм вод. ст., а эффективность (весовая) по атмосферной пыли была более 99 %.

Эти результаты послужили основанием для разработки аналитических фильтров и для контроля аэродисперсных примесей в воздухе.

В табл. 1 представлен ход работ по созданию, разработке конструкции и освоению производства фильтров АФА.

Таблица 1.

Годы	Наименование этапа работы	Исполнители
1948-1951	Изучение возможности применения материала ФП для определения весовой концентрации аэрозолей, в том числе α -активных.	НИФХИ
1951- 1953	Применение материала ФПП-15 и ФПА-15 для исследования α -активных аэрозолей в лабораторных и производственных условиях.	НИФХИ ВНИИНМ
1954-1957	Изготовление опытных партий и применение фильтров из ФПП-15 с рабочей поверхностью 3 и 20 см ² для измерений концентрации β -активных аэрозолей.	НИФХИ ПО «Маяк» (г.Озерск)
1958-1961	Изготовление и применение опытных фильтров из материала ФПП-15 с рабочей поверхностью 20 см ² для определения весовой концентрации и содержания продуктов распада радона.	НИФХИ Урановые рудники (г. Табошар, Янги- абад)

Окончание таблицы 1.

1959	<p>Фильтры получили наименование АФА. Разработаны ВТУ на фильтры для: - весового анализа АФА-В-18 (АФА-ВП-20), - радиометрического анализа АФА-РМП-3. АФА-РМП-20. АФА-РМА-20 и АФА-РМА-50 - радиографического анализа АФА-РГ-3</p> <p>Отделом техники безопасности Минсредмаша поставлен вопрос о промышленном выпуске фильтров АФА для нужд предприятий отрасли</p>	<p>НИФХИ</p> <p>Письмо МСМ</p> <p>Письмо № БО 331 от 27.10. 1959 г.</p>
1960	<p>Получено авторское свидетельство на АФА [1]. Разработка фильтра для весового анализа с рабочей поверхностью 10 см². Начало промышленного выпуска фильтров АФА на 7-ой картонажной фабрике (г. Москва)</p>	<p>НИФХИ НИФХИ, ИГТ и ПЗ, 7-ая карт. ф-ка НИФХИ В/О «ИЗОТОП»</p>
1964, 1968, 1970	<p>Выпущены каталоги «Аналитические аэрозольные фильтры АФА» [2. 3].</p>	<p>НИФХИ В/О «ИЗОТОП»</p>
1965-1966	<p>Разработаны радиоспектрометрические фильтры АФА-РСП-3. АФА-РСП-10. АФА-РСП-20 на основе фильтрующего материала ЛФС-2.</p>	<p>НИФХИ СНИИП</p>
1967	<p>Попытка организации выпуска фильтров АФА на предприятии п/я ОИ-92/1</p>	<p>В/О «ИЗОТОП», П/я ОИ-92/1 г. Махачкала</p>
1968	<p>Распоряжение руководства Минсредмаша об организации выпуска фильтров АФА на Кимрской фабрике им. Горького. Передача технической документации и оборудования для изготовления фильтров АФА с 7-ой картонажной фабрики на Кимрскую фабрику им. Горького.</p>	<p>Письмо ф-ки №28 от 12.06.68</p> <p>Протокол от 19 сентября 1968 г.</p>
1969	<p>Начало промышленного выпуска фильтров АФА на Кимрской фабрике им. Горького. Фильтры выпускаются по настоящее время</p>	<p>Кимрская фабрика им. Горького.</p>
1976	<p>Разработаны фильтры АФА-ВП с поверхностью 40 см² для служб Госгидромета.</p>	<p>Письмо №УИЗС- 122 от 25.02.76</p>
1984	<p>Разработан отраслевой стандарт «Фильтры аналитические аэрозольные АФА» ОСТ 95.10052-84 [4]</p>	<p>НИФХИ Минсредмаш</p>

Все этапы организации и освоения промышленного выпуска фильтров АФА проходили при непосредственном участии сотрудников лаборатории аэрозолей НИФХИ им. Л.Я. Карпова. Ими были разработаны не только технологические регламенты, технические условия, отраслевой стандарт на изготовление фильтров, но и методики контроля и работы с ними, каталоги, информационные листки с указанием свойств и областей применения [5].

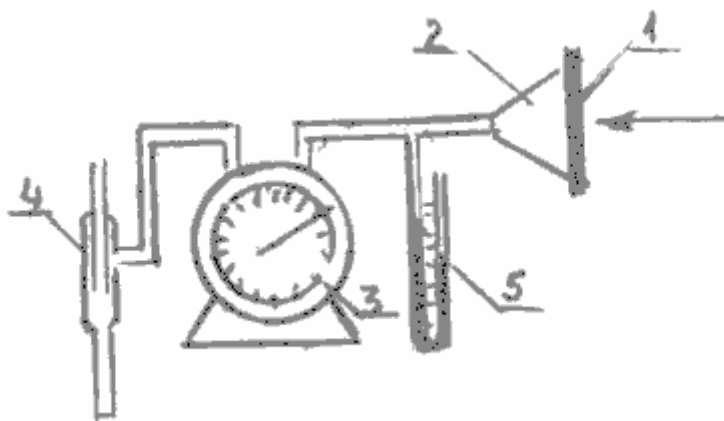


Рис. 1. Схема отбора проб.

1. Форма и размеры фильтров

Форма и размер фильтров АФА зависели, в первую очередь, от существовавших в то время датчиков радиометрических приборов. Измерения α -активных веществ проводилось приборами с сцинтилляционным детектором диаметром ~ 50 мм ($S \sim 20$ см²), а измерения β - и γ -активных веществ – детектором с диаметром окна ~ 20 мм ($S \sim 3$ см²). Под эти размеры и форму были изготовлены опытные партии фильтров. Для приборов с прямоугольным датчиком был разработан фильтр с $S=150$ см² (10x 15 см).

При разработке фильтра для весового анализа, в целях унификации, рабочая поверхность была принята в 20 см². В дальнейшем, по просьбе Госгидромета, разработан фильтр с $S = 40$ см², а по просьбе НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН – с $S = 10$ см².

В настоящее время фильтры АФА выпускаются круглой формы с рабочей поверхностью 3; 10; 20 и 40 см². Эти величины вошли в маркировку фильтров АФА. Кроме того, в маркировку фильтров входят первоначальные буквы вида анализа и материала, из которого изготовлен фильтрующий элемент (ФЭ). Например, фильтр для весового анализа с рабочей поверхностью 20 см² изготовленный из перхлорвинилового материала имеет марку АФА-ВП-20.

2. Конструкция фильтров

Конструкция фильтров АФА разработана при выполнении работ, связанных с определением концентрации радиоактивных аэрозолей в загрязненных производственных помещениях.

В настоящее время все фильтры АФА имеют бумажные защитные кольца с выступом, предохраняющие ФЭ от возможных загрязнений уплотняющей поверхностью фильтродержателя (аллонжа). Фильтры, предназначенные для анализа радиоактивных аэрозолей, имеют дополнительное опорное кольцо с выступом, на которое наклеен ФЭ. Такая конструкция фильтра АФА предложена для проведения радиометрического, радиоспектрометрического, радиографического и дисперсионного видов анализа. Она позволяет проводить измерение в условиях «радиостерильности» и получать достоверные результаты. Учитывая специфику исследования для весового, химического и бактериального видов анализа (необходимость до отбора проб, соответственно, провести взвешивание, химическую обработку и стерилизацию) было рекомендовано изготавливать фильтры без опорных колец. Это позволило механизировать упаковку фильтров. Если сначала фильтры АФА по 10 шт. упаковывали в кассету (фото 1), а затем 10 кассет - в коробку, то затем – в полиэтиленовую пленку с ячейками, в которых размещается по 25 фильтров и защитных колец (фото 2).



Фото 1.



Фото 2.

Как показала практика массового применения фильтров АФА, наличие выступов на защитных кольцах, кроме того, позволяет наносить на них основные данные отбора проб (№ пробы, начальный вес, место и время отбора и т.п.).

В зависимости от назначения ФЭ фильтров АФА изготавливаются из различных материалов ФП и имеют, соответственно, различную структуру фильтрующего слоя и физико-химические свойства (табл. 2).

Многолетняя и крупномасштабная практика показала, что конструкция фильтров АФА обеспечивает самые современные требования к проведению разового контроля (анализа) аэродисперсных примесей в воздухе и других газах.

Следует также отметить, что с целью получения достоверных данных и унификации в лаборатории аэрозолей НИФХИ им. Л.Я. Карпова были разработаны конструкции фильтродержателей (аллонжей) для фильтров АФА как для отбора проб из открытой атмосферы, помещений, залов и т.п., так и закрытых объемов (трубопроводы, боксы, аппараты и т.п.). На основе этих разработок в 1978 г. Кимрской фабрикой им. Горького было освоено производство фильтродержателей типа ИРА из полистирола для фильтров АФА (фото 3) с рабочей поверхностью 10 и 20 см² (ТУ 95.1021-82).

Таблица 2.

Наименование фильтра	Название по методу анализа	Фильтрующий материал	Входная поверхность ФЭ	Отношение к влаге, температуре ($^{\circ}\text{C}$), химическим агрессивным средам
АФА-ВП	весовой	ФПП-15-1.5 НЭЛ-3	ворсистая гладкая	гидрофобен <60 стоек
АФА-ХП АФА-ХА	химический	ФПП-15-1.5 НЭЛ-3 ФПА-15-2.0	ворсистая гладкая ворсистая	гидрофобен <60 стоек гидрофилен <150 нестойк
АФА-РМП АФА-РМА	радиометрический	ФПП-15-1.5 ФПА-15-2.0	гладкая (подпрессован)	гидрофобен <60 стоек гидрофилен <150 нестойк
АФА-РСП	радиоспектрометрический	ЛФС-2	гладкая	гидрофобен <60 стоек
АФА-РГП	радиографический	ЛФС-2	гладкая	гидрофобен <60 стоек
АФА-ДП	дисперсионный	НЭЛ-3	гладкая	гидрофобен <60 стоек
АФА-БА	бактериальный	ФПА-15-2.0	ворсистая	гидрофилен <150 нестойк



Фото 3. Фильтры АФА и фильтродержатели (аллонжи) ИРА

3. Промышленный выпуск фильтров АФА

Высокие фильтрующие и эксплуатационные свойства фильтров АФА по отношению к ранее используемым аллонжам с ватой или стекловолокном, а также бумажным фильтрам с «синей» или «белой» лентой явились основой для широкого применения их на многих предприятиях. В лаборатории аэрозолей были изготовлены штампы для вырубки бумажных защитных и опорных колец, а также ФЭ. С их помощью изготавливались опытные партии фильтров для проведения исследовательских работ и, частично, для оценки возможности их применения на предприятиях. Первые применения на установке Л-11 во ВНИИНМ, в Институте биофизики АМН СССР, на заводе «Авангард», ПО «Маяк», в СНИИП и др. показали, что фильтры просты, удобны при отборе и анализе проб, обеспечивают высокую эффективность, малое сопротивление и, соответственно, значительную скорость отбора воздуха. Предприятия разными путями доставали материалы ФП и стали готовить ФЭ сами. В это время не существовало ТУ на фильтры и методик работы с ними. Иногда брали случайный материал ФП, фильтры вырубали в загрязненных производственных помещениях, применяли аллонжи с различной рабочей поверхностью, пробы воздуха отбирали при различных скоростях. Естественно возник вопрос об организации промышленного выпуска фильтров. На Аэрозольной секции Минсредмаша в апреле 1959 г. сотрудниками лаборатории аэрозолей был сделан доклад о результатах разработки и применении опытных партий фильтров АФА на предприятиях отрасли. В сентябре 1959 г. начальник отдела техники безопасности Минсредмаша М.М. Башкирцев поставил вопрос о промышленном производстве этих фильтров с ориентировочной потребностью в 1960 г. 14 - 15 миллионов штук. Решение этого вопроса было поручено В/О «ИЗОТОП» Госкомитета по использованию атомной энергии СССР. Первая попытка организовать производство фильтров АФА

на Кимрской фабрике не привела к желаемому результату «ввиду отсутствия производственных мощностей» (письмо фабрики № 1070 от 01.12.60 г.).

Учитывая, что производство фильтров в основном связано с использованием значительного количества бумаги, привлекли 7-ю картонажную фабрику (г. Москва), подчиненную Управлению специализированных промышленных предприятий, применяющих труд инвалидов Мосгорисполкома. Для скорейшего освоения выпуска сотрудники лаборатории аэрозолей НИФХИ им. Л.Я. Карпова оказали фабрике практическую и научно-техническую помощь. Были переданы шаблоны для вырубки ФЭ, бумажных опорных и защитных колец, а также установки для определения сопротивления и эффективности фильтров. В октябре 1960 г. фабрика приступила к промышленному выпуску фильтров АФА. В 1961 г. их было изготовлено 950 тыс, в 1963 г. - 1425 тыс., в 1966 г. и последующие годы - по 2500 тыс. Однако требовалось (по сведениям В/О «ИЗОТОП») около 10 млн шт. Нужно было дополнительное оборудование, помещения, увеличение поставок сырья и материалов, увеличение персонала и т.д. Фабрика не нашла поддержки в этом ни у руководства Управления, ни в В/О «ИЗОТОП». Встал вопрос о переносе производства фильтров АФА на другое предприятие. В письме № 28 от 12.06.68 г. на имя Председателя Госкомитета по использованию атомной энергии СССР А.М. Петросьянца и академика И.В. Петрянова сообщалось, что «фабрика не может принять от В/О «Изотоп» заказ на изготовление фильтров АФА в 1969 г. и в интересах Вашего ведомства и народного хозяйства решить вопрос о производстве фильтров АФА на одном из Ваших предприятий в 1969 году».

Попытки организовать выпуск АФА на Сланцехимическом комбинате (г. Силламяэ в Эстонии) также были тщетны. В лучшем случае, производство фильтров могло быть организовано во втором полугодии

1969 г. Создавалось катастрофическое положение, когда не только на предприятиях Минсредмаша, но и других ведомств, могла прекратиться санитарно-гигиеническая оценка вредных веществ в воздухе. Учитывая это, И.В. Петрянов и автор этого доклада в июне 1968 г. направили письмо в Минсредмаш на имя Е.П. Славского с просьбой скорейшего решения этого вопроса. В августе 1968 г. распоряжением Заместителя Министра А.И. Чурина производство фильтров АФА было поручено Кимрской фабрике им. Горького. Выполняя это распоряжение, в сентябре 1968 г. на техническом совещании представителей НИФХИ им. Карпова (П. Басманов), 7-ой картонажной фабрики (М. Мендельсон и Б. Вассерман), Госкомитета по использованию атомной энергии (Ю. Богданов и О. Суэтина), Кимрской фабрики им. Горького (Т. Дурнова и А. Святенко) и В/О «ИЗОТОП» (А. Шпинькова) были решены основные вопросы по передаче производства фильтров АФА Кимрской фабрике. При этом 7-ая картонажная фабрика передавала не только всю научно-техническую документацию и часть оборудования, но и обязалась поставлять ежегодно Кимрской фабрике ежемесячно по 300 тыс защитных колец и по 55 тыс складных коробок.

Таким образом, с 1969 г. основным производителем фильтров АФА в нашей стране стала Кимрская фабрика им. Горького. И если в 1969 г. ею было выпущено около 1 млн., то в 1990 г. выпуск фильтров составил 33.6 млн шт. Из них 56 % фильтров для весового, 36 % - для химического, 5.3 % - для радиометрического и около 2 % - для радиоспектрометрического видов анализа. На фильтры для дисперсионного, радиографического и бактериального анализов приходится менее 1 %.

В настоящее время для проведения семи видов анализа (радиометрического, радиоспектрометрического, радиографического, весового, химического, дисперсионного и бактериального) разработано и выпускается 25 типоразмеров фильтров АФА по ТУ 95.1892-89.

4. Области применения фильтров АФА

Фильтры АФА в основном используются при решении важнейших задач современности – охраны здоровья людей и природы.

Фильтры АФА являются средством разового отбора проб аэродисперсных примесей при измерении концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны, а также свободной атмосфере. Так, разработанные ВНИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН и другими организациями методы предусматривают использование фильтров АФА при определении более 200 веществ в воздухе рабочей зоны и около 100 – в атмосфере [6 - 8]. При этом наибольшее применение нашли фильтры АФА-ВП-20. АФА-ВП-10. АФА-ХП-20. АФА-ХА-20. АФА-ХМ-20 и АФА-ХС-20. Эти фильтры, например, применяются при определении концентраций аэрозолей серной кислоты, кадмия, лития, теллура, таллия, алюминия, висмута, магния и многих других веществ, находящихся в воздухе.

Фильтры АФА-ВП-10 и АФА-ВП-20 используются службами контроля эффективности работы газоочистного оборудования (циклонов, фильтров из тканых или нетканых материалов, электрофильтров и т.д.) на предприятиях химической, металлургической, горно-перерабатывающей и др. отраслях промышленности. Их также широко применяют при:

- исследовании переноса аэродисперсных примесей в атмосфере,
- проведении мониторинга в городах, районах, областях,
- изучении влияния загрязненности воздуха антропогенными аэродисперсными примесями на животный и растительный мир,
- исследованиях и контроле распространения аэрозолей в процессе обработки полей и лесов ядохимикатами и удобрениями.

В некоторых случаях фильтры АФА-ВП-10 и АФА-ВП-20 используются в лабораторной и экспериментальной технике как средство высокоэффективной очистки воздуха (газов), поступающего в приборы,

аппараты, на детекторы и т.п.

Фильтры АФА-РМП-3, АФА-РМП-10, АФА-РМП-20 и АФА-РМА-20 являются основой определения концентраций радиоактивных аэрозолей радиометрическими, а фильтры АФА-РСП-3, АФА-РСП-10 и АФА-РСП-20 спектрометрическими приборами [9, 10].

Применение этих фильтров предусмотрено на предприятиях атомной промышленности, АЭС и всех производственных, научно-исследовательских и технологических организациях, использующих, перерабатывающих или применяющих радиоактивные вещества. В частности, на предприятиях атомной промышленности и АЭС созданы единые сети, обеспечивающие пробоотбор в производственных и вспомогательных помещениях, где установлены специальные фильтродержатели (ФД) для АФА. В НИЦ «СНИИП» разработаны переносные, стационарные, индивидуальные приборы для измерения объемной активности и спектрального состава аэрозолей, в которых используются АФА: радиометр АРС-1 «Комета», портативный универсальный аэрозольно-газовый радиометр РВ-4 «Дымка», лабораторный радиометр аэрозолей «Коралл», радиометр для контроля аэрозольно-газовых выбросов «Калина», прибор РВ-4 для контроля аэрозолей и газов на АЭС и судах с ЯЭУ, прибор ИЗВ-1 для контроля концентрации продуктов распада радона и запыленности на шахтах и другие [11].

Фильтры АФА-ДП-3 применяются для оценки дисперсности и концентрации аэрозолей размером более 0.5 мкм оптическим методом. Фильтры АФА-РГП-3 позволяют определить размер и радиоактивность аэрозоля с помощью радиографии, а фильтры АФА-БА-3 – произвести анализа микроорганизмов бактериальным методом. Эти фильтры, как правило, используются при проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ в химии, микробиологии, эпидемиологии, при разработке газоочистного оборудования, микроэлектронных приборов.

Фильтры АФА используются также для оценки концентрации, дисперсности, химического состава аэродисперсных примесей не только в воздухе, но и в азоте, кислороде, аргоне и других газах и их смесях, к которым химически и термически устойчив фильтрующий материал.

В заключение следует отметить, что области применения фильтров АФА на сегодня ограничиваются температурой до 150 °С, наличием в воздухе паров органических веществ, аммиака, окиси азота и других агрессивных газов. С появлением новых как органических, так и неорганических волокнистых материалов (полисульфон, полипропилен, стекловолокно без связующих, металловолокна и др.), современных приборов пробоотбора и анализа уловленного фильтрами осадка, а также повышением требований к охране окружающей среды, появилась надежда на создание более совершенных аналитических фильтров. В настоящее время имеются все возможности расширить номенклатуру производства фильтров АФА и, соответственно, области их применения.

Литература

1. Петрянов И.В., Натансон Г.Л., Розенблюм Н.Д., Борисов Н.Б. Басманов П.И., Баберкина Г.И., Михайлова А.Д., Коптева Л.И. Аналитические фильтры аэрозольны. Авт. свид. № 138768 с приоритетом от 16.07.60 г. Бюллетень изобретений, 11. 1961.
2. Басманов П.И., Поплавская В.А. Аналитические аэрозольные фильтры АФА. М.: Атомиздат. 1964 и 1968 гг.
3. Басманов П.И., Борисов Н.Б. Каталог-справочник «Фильтры АФА». М.: 1. Атомиздат, В/О «ИЗОТОП», 1970. 44 с.
4. ОСТ 95.10052-84. Фильтры аналитические аэрозольные—АФА. Технические условия.

5. Борисов Н.Б., Басманов П.И., Борисова Л.И. Аналитические фильтры АФА для исследования аэрозолей. Труды Третьих Петряновских чтений, Москва, 19-21 июня 2001 г. РИЦ МГИУ, 2001. с. 229-266.
6. Перегуд Е.А., Гернет Е.В. Химический анализ воздуха промышленных предприятий. Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1970. 440 с.
7. Перегуд Е.А. Химический анализ воздуха. Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1976, 388 с.
8. Муравьева С.И., Казнина Н.И., Прохорова Е.К. Справочник по контролю вредных веществ в воздухе. М.: Химия. 1988, 320 с.
9. Воробьев А.М. Методы определения радиоактивных веществ в воздухе. М.: Медицина. 1974 г.
10. Коренков И.П., Кириллов Р.Ф. Методы определения радиоактивных веществ в воздухе. Библиотека практического врача. М.: Медицина. 1978. 128 с.
11. Как создавалось отечественное ядерное приборостроение (к 50-летию Ордена Трудового Красного знамени научно-инженерного центра СНИИП) НИЦ «СНИИП». М.: ООО «Восточный горизонт», 2002.

Секция 3

СРЕДСТВА КОЛЛЕКТИВНОЙ И ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ АЭРОДИСПЕРСНЫХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ПРИМЕСЕЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА ФП ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Подплетнева Г.В., Астахов В.С., Коробейникова А.В.

ЗАО «СЗ НТЦ «Портативные СИЗ им. А.А. Гуняева», Санкт-Петербург.

Ключевые слова: респиратор, капюшон, коэффициент проникания, сопротивление воздушному потоку.

Большое значение для обеспечения защиты органов дыхания человека имеет надежность применяемых СИЗОД. Эффективность легких СИЗОД (респираторов) обеспечивается не только фильтрующими материалами, но и надежностью полосы обтюрации. Особенное значение эффективность СИЗОД приобретает при попадании человека в условия чрезвычайной ситуации. В настоящее время для защиты от радиоактивных аэрозолей используются противоаэрозольные респираторы типа ШБ-1 «Лепесток», Р-2 (У-2К) и др. [1].

Наиболее эффективными являются противоаэрозольные респираторы конструкции «АЛИНА» (аналог респиратора ШБ-1 «Лепесток»), имеющие универсальный размер [2]. Результаты испытаний респиратора «АЛИНА-П» приведены в табл. 1.

Испытания проводились в камере по ГОСТ Р 12.4.191-99 на 10 испытуемых с разными геометрическими размерами лица при движении на тредбане со скоростью 6 км/ч. В качестве тест аэрозоля использовался хлорида натрия. Испытания показали, что средний $K_{пр}$ при «ходьбе» (Д) после выполнения упражнений (Б, В и Г) увеличивается относительно упражнения «ходьба» (А) (- 1.46%) и составляет 2.81%. Упражнения «ходьба» (Д) после выполнения упражнений, моделирующих разговор и

движения головой в разные стороны, показывают, что контроль за герметичностью по полосе обтюрации снижается и в результате увеличивается $K_{пр}$.

Таблица 1.

Результаты испытаний респиратора АЛИНА-П FFP2 на испытателях

Испытатель	Коэффициент проникания аэрозоля хлорида натрия, $K_{пр}$ (%)					
	(А) ходьба	(Б) повороты головы влево- вправо	(В) повороты головы вверх-вниз	(Г) прогова- ривание алфавита	(Д) Ходьба	Сред- нее значе- ние $K_{пр}$
ВД	1.04	1.57	2.19	4,21	2.69	2.34
КН	1.80	1.94	2.74	2.22	3.21	2.38
БС	1.44	2.75	2.63	3.74	3.90	2.89
ЗО	1.45	1.96	2.61	2.82	3.34	2.44
ИА	1.60	1.22	1.93	1.83	1.62	1.64
КИ	1.42	1.42	1.59	1.54	2.71	1.74
СС	1.71	2.35	2.47	3.16	2.94	2.53
СЕ	1.16	1.37	1.84	2.25	2.43	1.81
ГС	1.52	1.98	2.03	2.76	2.87	2.23
КТ	1.46	1.83	2.25	2.38	2.41	2.07
Среднее	1.46	1.84	2.23	2.69	2.81	2.21
Минимальное	1.04	1.22	1.59	1.54	1.62	1.64
Максимальное	1.80	2.75	2.74	4,21	3.90	2.89

Поэтому для повышения надежности защиты населения от радиоактивных аэрозолей необходимы более надежные конструкции СИЗОД. Одна из таких конструкций - капюшон. В 50-е годы прошлого столетия авторами респиратора ШБ-1 «Лепесток» С.Н. Шатским и П.И. Басмановым с применением фильтрующего материала ФПП был создан первый фильтрующий капюшон в виде респиратора ШБ-2 (рис. 1).

По устройству ШБ-2 представляет собой респиратор «Лепесток», корпус которого является фильтрующим капюшоном из одного куска материала ФП с тремя последовательно расположенными обтюраторами (а

– лицевой, б – средний, в - шейный), двумя закрытыми пластиком смотровыми окнами и лямкой для фиксации. Благодаря материалу ФП и трем последовательным обтюраторам данный респиратор обладает высокими защитными свойствами, его гарантированный коэффициент защиты составляет не менее 1000. Масса респиратора ШБ-2 около 60 г, сопротивление дыханию при объемном расходе воздуха 30 л/мин не более 42 Па. Респиратор ШБ-2 предназначен для защиты органов дыхания, глаз и кожи головы от наиболее опасных аэрозолей, прежде всего, от микробиологических возбудителей инфекций. Кроме того, выполнение шлема из волокнистого фильтрующего материала обеспечивает увеличение эффективной площади поверхности респиратора и поэтому приводит к снижению сопротивления дыханию.

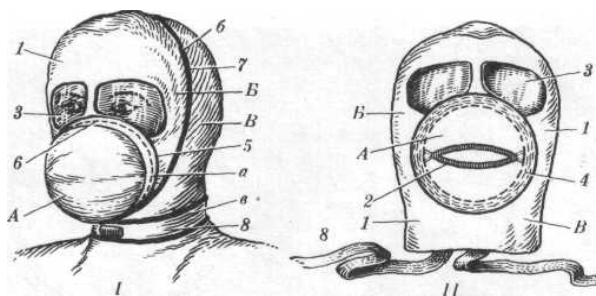


Рис. 1. I — общий вид надетого респиратора;
II — вид изнутри.

Однако конструкция респиратора ШБ-2. с одной стороны, достаточно сложна, а, с другой стороны, предусматривает достаточно плотное облегание шлемом головы пользователя, что требует, во-первых, подбора респиратора по размеру в зависимости от антропометрических данных и, во-вторых, наличия у пользователя определенных навыков надевания такого респиратора перед его применением. Последние два обстоятельства делают проблематичной возможность использования данного респиратора при эвакуации с места пожара, аварии или катастрофы людей, имеющих различные и заранее неизвестные

антропометрические данные головы и, как правило, не подготовленных к использованию средств индивидуальной защиты. Более того, облегающий голову шлем не позволяет применять респиратор ШБ-2 людьми с определенными особенностями внешности, например, женщинами, имеющими косы или высокие и пышные прически, мужчинами, носящими бороды, а также людьми, пользующимися очками.

Узкоспециализированная область применения, существенно худшие, чем у респиратора «Лепесток», физиолого-гигиенические и эксплуатационные свойства и высокая стоимость обусловили ограниченный выпуск респираторов ШБ-2.

Однако трагический опыт Чернобыля, а также периодически возникающие эпидемии вирусных инфекций, передающихся воздушно-капельным путем (атипичная пневмония, птичий грипп) доказали необходимость создания комплексного средства индивидуальной защиты в виде фильтрующего капюшона.

Специалистами холдинга «Севзаппромэнерго» была разработана новая конструкция комплексного средства для защиты органов дыхания, глаз, кожи лица и головы, в виде защитного капюшона АСКОР-П [3]. Он состоит из прозрачного материала, защищающего голову, глаза и кожу лица, и воздухопроницаемого высокоэффективного волокнистого материала, закрывающего нижнюю часть лица и служащего элементом для очистки вдыхаемого воздуха. Большая площадь фильтрующего элемента, выполненного из материала ФП, обеспечивает необходимую эффективность защиты и низкое сопротивление дыханию.

Для повышения надежности защиты капюшон может применяться в комплекте с респиратором «АЛИНА». Капюшон и респиратор, объединенные между собой клапаном выдоха, представляют собой единое комплексное средство индивидуальной защиты (КСИЗ).

Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Результаты испытаний КСИЗ на испытателях по ГОСТ Р 12.4.191-99

Значение	Коэффициент проникания аэрозоля хлорида натрия, K _{пр} (%)					Среднее
	(А)*	(Б)*	(В)*	(Г)*	(Д) *	
Среднее	0.75	1.075	1.3	1.85	1.2	1.25
Минимальное	0.4	0.9	0.8	0.9	0.3	0.8
Максимальное	0.9	1.2	2.0	2.9	2.3	1.7

Примечание: * виды упражнений аналогичны, приведенным в табл.1.

Из табл. 2 видно, что коэффициент проникания для КСИЗ колеблется от 0.8 до 1.7 %, для респиратора АЛИНА-П FFP2 (табл. 1) - от 1.64 до 2.89. Средняя величина K_{пр} для КСИЗ составляет 1.25. т.е. меньше среднего значения для респиратора (2.21 %).

Наибольшие величины K_{пр} наблюдались при упражнениях Д («ходьба») и Г («проговаривание алфавита»). При сравнении средних показателей K_{пр} в этих двух упражнениях для КСИЗ (1.2 и 1.85) и для респиратора (2.81 и 2.69) видно, что защитная эффективность КСИЗ почти вдвое выше, чем для респиратора.

Испытания по определению сопротивления воздушному потоку при расходе 30 л/мин на голове манекена по ГОСТ Р 12.4.191-99 показали, что сопротивление КСИЗ равно 32 Па, а респиратора АЛИНА-П FFP2 – в полтора раза меньше (22 Па). Но полученная величина для КСИЗ не превышает допустимую физиологическую норму (100 Па при 30 л/мин) и является приемлемой.

Таким образом, КСИЗ является более надежным СИЗОД, чем респираторы в виде фильтрующей полумаски. КСИЗ может быть использовано различными группами населения санитарно-карантинных зон и зон наблюдения радиационноопасных объектов при возникновении ЧС.

Литература

1. Коробейникова А.В. Применение облегченных газопылезащитных респираторов для защиты человека в быту и в общественных местах // Рабочая одежда, № 4-5 (20-22), 2003. с. 12-14.
2. Коробейникова А.В., Астахов В.С. Респираторы «Алина» и ШБ- 1 «Лепесток» // Безопасность и охрана труда, № 2. 2003.
3. Астахов В.С., Коробейникова А.В, Подплетнева Г.В. Облегченные средства защиты от ингаляционного воздействия вредных факторов // Флагман безопасности. Февраль 2004 г., с. 24.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПОДСОСА ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУХА В ПОДМАСОЧНОЕ ПРОСТРАНСТВО С ПОМОЩЬЮ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ АЭРОЗОЛЕЙ

Миронов Л.А., Егорова Г.И.

ФГУП «Нижегородский НИИ гигиены и профессиональной патологии»

Ключевые слова: респиратор, обтюратор, люминесцирующие аэрозоли.

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ) является одной из эффективных мер профилактики производственно обусловленных заболеваний. Однако эффективность защиты во многом зависит от правильности применения СИЗ. Во время работы межведомственной комиссии по сравнительной оценке эффективности применяемых в промышленности фильтрующих респираторов-полумасок Игорем Васильевичем Петряновым была поставлена задача выяснения причин недостаточной эффективности защиты на предприятиях при применении в принципе высокоэффективных респираторов. Даже правильно, с учетом условий труда, подобранные средства индивидуальной защиты могут быть неэффективны, если допускаются ошибки в их использовании. Особенно это наблюдается при недостаточно качественном обучении работающих правилам использования тех или иных СИЗ, отсутствии тренировок, нарушении режимов эксплуатации СИЗ и слабом контроле работодателем и надзорными органами за применением СИЗ. Так, если неправильно подготовить даже такой высокоэффективный респиратор, как ШБ-1 «Лепесток-200» к надеванию, не расправить обтюратор по резинке, не обжать по форме носа носовую пластинку, будет нарушена надежность

обтюрации (прилегания краев респиратора к лицу) и загрязненный воздух пройдет в подмасочное пространство через неплотности обтюрации.

Все это может привести к неэффективной защите работающего, возможности вредного воздействия на человека токсичных веществ, возникновению производственно обусловленной заболеваемости. Учитывая, что самым ненадежным местом у фильтрующих респираторов-полумасок является полоса обтюрации, нами была разработана и применена в работе вышеупомянутой комиссии специальная методика обнаружения локализации подсоса с помощью люминесцирующих аэрозолей. Об этой методике мы доложили на Четвертых Петряновских чтениях.

Одним из основных показателей при оценке фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) является защитная эффективность изделия, характеризующаяся коэффициентом проникания аэрозолей вредных веществ в подмасочное пространство (ГОСТ 12.4-041-89 – СИЗОД фильтрующие) [1]. Он, в свою очередь, зависит от проскока аэрозолей через фильтрующие элементы и подсоса загрязненного воздуха через клапанные системы, возможные неплотности конструкции и, главным образом, по полосе обтюрации (прилегания полумаски к лицу). Подсос по полосе обтюрации зависит от многих причин: особенностей конструкции, формы лица, условий эксплуатации, правильности подбора, подгонки и надевания респираторов.

Поэтому наряду с определением коэффициента проскока фильтров СИЗОД (на стенде в лабораторных условиях) и коэффициента проникания (на испытуемых-добровольцах в производственных условиях) актуальным является определение надежности обтюрации, обнаружение локализации подсоса, что позволит повысить эффективность применения СИЗОД и устранить дефекты их конструкции.

Для определения проникания загрязненного воздуха под полумаску фирма 3М рекомендует прибор FT-02 и методику «Проверка плотности прилегания». Прибор состоит из распылителя концентрированного раствора сахарина в зоне дыхания. Проверка легко и быстро выполняется на рабочем месте. Если при выполнении теста испытуемый не чувствует сладкий вкус – тест прошел успешно, и подгонка СИЗОД правильная. В противном случае требуется подобрать ему другой размер или модель СИЗОД или откорректировать подгонку респиратора. Аналогичный метод приведен в памятке США [2]. Здесь и проскок, и подсос рекомендуется определять по обнаружению запаха или вкуса контрольного вещества, также без регистрации локализации мест проникания.

В литературе описаны методы, которые могут быть использованы при определении не только наличия подсоса, но и его локализации. Так в [3] описан метод с использованием флуоресцентных частиц 4-метил-7-диаминокумарина. Места проникновения через СИЗОД исследовались на манекенах и людях и были определены по обнаружению флуоресцирующих следов аэрозоля при освещении ультрафиолетовым светом. В [4] были определены места проникновения флуоресцентного аэрозоля с мечеными атомами при стандартной подгонке СИЗОД. Установлено, что 89 % случаев проникновений произошло в области носа или подбородка. Приблизительно 73 % имели форму разреза, а не круглого отверстия. Была установлена корреляция размеров лица и факторов подгонки для трех размеров лица.

Нами разработана (патент на изобретение № 2198006 от 10.02.2002 г.) и применена в лабораторных условиях [5] и на предприятиях [9, 10] методика для контроля плотности прилегания противопылевых респираторов и определения локализации подсоса. Разработаны методические указания «Обнаружение локализации подсоса воздуха в подмасочное пространство СИЗОД с помощью люминесцирующих

аэрозолей» МУ 2.2.8.1893-04, утвержденные Минпромом РФ [6], по которым ЗАО «Севзаппромэнерго» создана и реализуется портативная установка «Ингавит». Принцип методики заключается в использовании люминесцирующих аэрозолей, подаваемых в зону дыхания работающих с последующим обнаружением следов проникания малейших количеств флюорохрома по полосе обтюрации при освещении лиц работающих и респираторов ультрафиолетовым светом.

Основным при разработке метода был подбор композиции флюорохрома, обеспечивающей образование устойчивых аэрозолей, способных обеспечивать люминесценцию следов подсоса как на материалах СИЗОД, так и на коже лица человека или на поверхности манекена. Ранее (см. комплект методик, утвержденных Отделом охраны труда ВЦСПС 23.08.1979 г.) мы применяли водный раствор аурамина 1:500, который давал устойчивые аэрозоли с твердой фазой, в том числе с одновременным применением стандартной методики определения коэффициента проникания аэрозолей хлористого натрия.

Затем методика была усовершенствована: флюорохром аурамин заменен уранином (натриевая соль флюоресцеина по ТУ 6-09-228-77), широко применяемым в медицинской практике в виде инъекций [7]. Флюорохром и его концентрация в рабочем растворе 0.2 % были подобраны эмпирически (всего было опробовано 20 наименований флюорохромов: аурамин, уранин, родамин-В, родамин-С, корифосфин-О, трипофлавин, примулин-О, тиофлавин –S, аурофосфин-С, акридин оранжевый, акридин желтый, берберин-сульфат и др.). Для получения стойкой дисперсной фазы в водный раствор уранина добавляли от 1 до 10 % глицерина, а для компенсации возникающей при этом вязкости раствора, снижения поверхностного натяжения и повышения дисперсности аэрозолей добавляли 0.03 % смачивателя ОП-7 [8]. Затем для оценки

обтюрации респираторов на людях был применен эозин, обычно используемый в косметике.

Аэрозоль получали при помощи пневматического аэрозольного генератора конструкции Горьковского НИИ гигиены труда с переносным малогабаритным компрессором мембранного типа АИ-1. в последствии – небулайзера фирмы «ОМРОН», либо при помощи ультразвуковых генераторов типа «Муссон-1М» (ТУ 25-2012.075-89) или «Флора» (ГОСТ 14087-80). В качестве источников ультрафиолетового света применяли портативные осветители модели 833 (ТУ 64-1-1086-72) и ОЛД-41 (ТУ 61-1-2242-77) с фильтрами УФС-3.

Устройство может быть использовано для обнаружения локализации подсоса при оценке конструкции СИЗОД, для обучения правильным приемам подгонки и эксплуатации респираторов, а также для контроля правильности применения респираторов и качества работы отделов охраны труда по обучению работающих.

Применение этой методики позволило выявить и наглядно показать работающим их ошибки в использовании респираторов и этим резко снизить количество случаев подсоса загрязненного воздуха в подмасочное пространство СИЗОД в производственных условиях. При сравнительной оценке различных респираторов определяли надежность их обтюраторов, выбрали оптимальные варианты и давали рекомендации разработчикам по совершенствованию конструкции СИЗОД.

С помощью этой методики успешно испытаны респираторы отечественного и зарубежных производств, откорректированы конструкции ряда респираторов.

Так, установлено (табл.), что при соблюдении всех правил применения СИЗОД респираторы с резиновой полумаской ПР-7 (Ф-62Ш, РПА-91. РУ-60. РПГ-67) давали до 50-60 % случаев подсоса, что обуславливало 0.42-2.14 % проникания аэрозоля хлористого натрия, определяемого по

стандартной методике. При применении респиратора У-2К обнаружено наличие люминесцирующих аэрозолей в складках пленочного обтюлятора в 100 % случаев, что приводило к высокому коэффициенту проникания аэрозолей хлористого натрия 2.7 – 3.4 % несмотря на наличие в этой конструкции высокоэффективного фильтра из материала ФП. Наиболее надежными оказались обтюрации респираторов «Лепесток», «Алина», «Снежок», «Кама» (10-15 % случаев обнаружения флюоресценции на обтюляторах респираторов и на лице испытуемых), что позволяет получить низкий коэффициент проникания по аэрозолям хлористого натрия (0.17-0.34 %).

При этом установлено, что у респираторов с относительно жесткой конструкцией полумаски («Кама», «Ф-62Ш», «РУ-60М») подсос чаще всего происходит в верхней (у переносицы) и нижней (у подбородка) части обтюлятора и увеличивается при перемещении полумаски на лице во время резких движений головы, разговора и сокращений мимических мышц. У резиновых полумасок отмечены случаи подсоса по боковым участкам обтюлятора (у мест крепления тесьмы оголовья), особенно когда в процессе носки сбиваются текстильные обтюраторы.

При испытании респираторов типа ШБ-1 «Лепесток», имеющего обтюратор из материала ФП, обладающего электростатическим зарядом и «прилипающего» к коже лица, подсос обнаруживался в 5-10 % случаев только в области носа и носогубных складок (у концов алюминиевой пластинки) и иногда – под подбородком в точке узелка на strangulating резинке. У респираторов типа «Алина», где strangulating резинка полностью скрыта в толще обтюлятора и узелок отсутствует, подсос в этой точке не наблюдается. У респираторов с обтюратором, выполненным из марли («Уралец-П») проникание люминесцирующих аэрозолей наблюдается через относительно большие межнитевые пространства марли, что отсутствует при применении в

качестве обтюлятора мягкого и плотного текстильного материала типа байки (респиратор «Юлия»).

Таблица.

Оценка плотности прилегания обтюляторов промышленных респираторов

Респиратор	Свечение		Характерные участки свечения	Коэффициент проникания NaCl, %
	Обнаружено, %	Не обнаружено, %		
Ф – 62 Ш РПА – 91 РУ - 60 РПГ – 67 (полумаска ПР –7)	50 – 64	36 - 50	По линии обтюрации и справа на переносице и подбородке	0.42 – 2.14
«Кама», «Лепесток», «Снежок»	10 – 15	85 - 90	Следы около носогубных складок и под подбородком	0.2 – 1.0
«АЛИНА»	0 - 5	95 - 100	Следы около носогубных складок	0.2 – 1.0
У – 2 К	0 - 5	0	По всем складкам пленочного обтюлятора	2.7 – 3.4
Медицинская маска	100	0	По всей поверхности прилегания маски к носу и щекам	16,5 – 45.5
Марля в 4 слоя	100	0	Сквозное интенсивное проникание через все слои марли в проекции носа и рта	92 - 95

В безопасности применение СИЗОД большое значение имеет надежность клапана выдоха, особенно одноступенчатого, которым

оснащен ряд респираторов-полумасок («У-2К», «РУ-60М», «Ф-62Ш», некоторые варианты «Алина», «Юлия», «Нева»). При деформации клапанного лепестка из-за старения резины или даже незначительного изменения угла прижатия лепестка к седлу клапана (в процессе конструирования или изготовления) может быть подсос загрязненного воздуха, который мы так же обнаруживаем по свечению на клапане и на лице испытуемого при применении методики люминесцирующих аэрозолей.

При массовом обследовании правильности применения респираторов на предприятиях мы приглашали персонал непосредственно с рабочего места в пункт люминесцентного контроля, не снимая респиратора «Лепесток», подавали в течение 30 с зону дыхания люминесцирующей аэрозоль и затем освещали лицо обследуемого и респиратор ультрафиолетовым светом. При неправильной подгонке обнаруживали яркую флюоресценцию в местах подсоса. Такое обследование показало, что подсос имел место в 70 % случаев из-за неправильных подготовки и надевания респираторов из-за некачественного, формального инструктажа и обучения. Обычно работающие неравномерно и не до конца расправляли обтюратор по странгулирующей резинке, недостаточно плотно обжимали алюминиевую пластинку на переносице, либо наоборот – резко сгибали ее посередине, в связи с чем образовывался канал по спинке носа.

При многократном снятии – надевании респиратора и неаккуратном хранении (например, в кармане) края алюминиевой пластинки начинали выпирать из обтюратора, что также приводило к подсосу в области крыльев носа и носогубных складок. Следует отметить, что на качество обжима пластинки на переносице и появление подсоса существенно влияет жесткость и упругость пластинки (из-за замены алюминия на другой металл или увеличения толщины пластинки, что мы обнаруживали в некоторых партиях респираторов «Лепесток» и «Уралец»).

В процессе обследования работающим разъясняли ошибки (с демонстрацией в зеркале и друг на друге характерного зеленого свечения на участках подсоса и в ноздрях). Психологический эффект такого обучения был высоким. Работающие стали тщательно готовить респираторы и правильно надевать. Даже через год при повторных обследованиях этих людей регистрировалось не более 10 % случаев подсоса, и то чаще всего из-за глубоких носогубных складок или нестандартной формы носа. Наглядность обучения работающих правильному применению респираторов с использованием люминесцирующих аэрозолей была успешно осуществлена на целом ряде предприятий, в частности, при работе с агрохимикатами в сельском хозяйстве [8], в бригадах АО «Волговятсантехмонтаж» при резке и сварке оцинкованных труб, в производствах пенополиуретанов и на химических производствах при затаривании пылящих продуктов [9, 10].

Таким образом, обнаружение локализации подсоса загрязненного воздуха через неплотности обтюрации респираторов-полумасок и клапанов выдоха с помощью люминесцирующих аэрозолей может быть использовано при оценке защитной эффективности СИЗОД, корректировке их конструкций, при контроле правильности использования фильтрующих респираторов, а также оценке качества обучения в отделах охраны труда и техники безопасности [11].

Отдельно следует отметить эффективное применение этой методики при обосновании повышения эффективности индивидуальной защиты органов дыхания медицинских работников. Дело в том, что персонал медицинских учреждений подвергается воздействию вредных производственных факторов, в связи с чем среди медиков высока профессиональная и производственно обусловленная общая заболеваемость, не меньшая, чем в других отраслях производственной деятельности [12, 13]. Причем значительную роль играет респираторный

путь воздействия вредных факторов. Здесь – и поступление в организм высокоактивных лекарственных препаратов (особенно антибиотиков, транквилизаторов, аллергенов), дезинфицирующих средств, и, конечно, постоянный непосредственный контакт с больными и инфицированным материалом. В структуре профессиональной заболеваемости медиков преобладают аллергические заболевания 53-68 %; на втором месте – патология дыхательной системы (туберкулез – 13 – 19 %; бронхиальная астма – 4 %; хронический бронхит – 1 %).

Одной из причин профзаболеваемости медицинских работников является несоответствие существующей системы индивидуальной защиты врачей, медсестер и младшего персонала [14]. Обеспечение средствами индивидуальной защиты медработников регламентируется Типовыми отраслевыми нормами бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам организаций здравоохранения, утвержденных Постановлением Минтруда РФ № 68 от 29 декабря 1997 г. [15]. В данном законодательном документе для врача, среднего и младшего медицинского персонала, обслуживающих инфекционных, туберкулезных и лепрозных больных (п. 4) предусмотрен «респиратор марлевый». Он же предусматривается для персонала противочумных учреждений (п. 48), отдельных профессий производства бактериальных и биологических препаратов (п. 69). Для работников, непосредственно работающих с возбудителями инфекционных заболеваний I и II групп патогенности (п. 74), равно как и для ряда других профессий, связанных с фактором вредности, вообще не предусмотрена защита органов дыхания. Это приводит в заблуждение руководителей лечебно-профилактических учреждений. До настоящего времени в медицинских учреждениях применяются марлевые повязки в несколько слоев марли (иногда с ватой между слоями марли) или маски

хирургические различных вариантов, не обеспечивающие необходимой защиты органов дыхания медицинских работников.

По классификации и маркировке СИЗОД, принятой в системе ССБТ, ни в новых, ни в старых стандартах такого изделия, как «респиратор марлевый», не существует. Изучение защитной эффективности показало, что проникание аэрозолей под медицинскую маску составляет более 34 %, под марлевую повязку – 95 %. Низкую защитную эффективность по микробному аэрозолю показали испытания ватно-марлевой повязки (ВМП), состоящей из марли и ваты с массой 20-40 г, коэффициент проскока составил 58 % [16]. В то же время согласно требований к СИЗОД по ГОСТ Р 12.4.191-99 проникание аэрозолей под респираторы должно быть для 1 класса – не более 22 %, для 2 класса – не более 8 %, для 3 класса – не более 2%. Марлевые повязки, равно как и медицинские маски, не имеют полосы обтюрации, и в лучшем случае могут в какой-то степени защитить окружающих от дыхания носителя повязки. Загрязненный же воздух при вдохе попадает в органы дыхания пользователя через неплотности обтюрации, минуя фильтрующий корпус марлевой повязки или медицинской маски. Результаты проведенной в Нижегородском НИИ гигиены и профессиональной патологии сравнительной оценки различных вариантов СИЗОД с применением люминесцирующих аэрозолей [11] выявили в 100 % подсос загрязненного воздуха на лице пользователей и на внутренней поверхности марлевых повязок и медицинских масок. Актуальность изменения существующей концепции очевидна.

В свое время нами были разработаны рекомендации по защите медицинских сестер, проводящих медикаментозную терапию [17], где вместо марлевых повязок и медицинских масок рекомендовался высокоэффективный респиратор «Лепесток». В журнале «Ремедиум Приволжья» [18] мы опубликовали первый вариант рекомендаций по

использованию легких респираторов для защиты персонала учреждений здравоохранения, ветеринарии, медицинских НИИ и лабораторий.

В связи с этим ФГУН «Нижегородский НИИ гигиены и профессиональной патологии» совместно с ЗАО «Северо-Западный НТЦ «Портативные средства индивидуальной защиты» им. А.А. Гуняева» (Авторы: Тихомиров Ю.П., Миронов Л.А., Егорова Г.И., Коробейникова А.В.) разработаны региональные методические рекомендации «Повышение эффективности индивидуальной защиты органов дыхания работников медицинских учреждений», утвержденные директором Департамента здравоохранения Нижегородской области 4 мая 2007 г. В них даны научнообоснованные рекомендации по применению эффективных, сертифицированных СИЗОД, эргономически приемлемых в медицинских учреждениях. Вид, марки и класс СИЗОД рекомендуются в зависимости от условий труда, степени вредности и класса опасности химических и биологических вредных факторов, превышения ПДК вредных веществ и микроорганизмов в воздухе рабочей зоны медицинского персонала. Наиболее приемлемыми для большинства медицинских работников следует считать облегченные респираторы в виде фильтрующих полумасок соответствующих классов защиты, имеющих надежную полосу обтюрации с коэффициентом проникания аэрозолей не более 0.5-5 %, обладающие низким сопротивлением дыханию (30 – 45 Па), с малой массой (10 – 15 г) и незначительным ограничением поля зрения, например конструкции «АЛИНА» или «Лепесток», прошедших гигиенические испытания в Нижегородском НИИ гигиены и профессиональной патологии.

Внедрение этих рекомендаций и использование в практике работы медицинских учреждений эффективных СИЗОД позволит обеспечить профилактику профессиональной патологии среди работников учреждений здравоохранения.

Литература

1. ССБТ. ГОСТ 12.4.041-89. Средства индивидуальной защиты фильтрующие. Общие технические требования.
2. How to Prevent Lead Poisoning on Your Job! A Workers Guide to Lead Safety in General Industry. California Department of Health Services. 2000.
3. Am. and Hyg. Assoc. J. 1990. May, 51(5):280-4 Identification of face seal leak sites on a half-mask respirator. Oestenstand R.K., Rerkins J.L., Rose V.D. School of Public Health, University of Alabama, Birmingham 35294.
4. Am. and Hyg. Assoc. J. 1990. May; 51 (5):285-90. Oestenstand RK, Dillioni H.K., Rerkins L.L. School of Public Health, University of Alabama, Birmingham 35284.
5. Миронов Л.А., Егорова Г.И., Матвеев Н.В. Способ обнаружения локализации подсоса загрязненного воздуха в средствах индивидуальной защиты органов дыхания. Описание изобретения к патенту № 2198006 от 10.02.03.
6. Методические указания МУ 2.2.8.1893-04. Обнаружение локализации подсоса воздуха в подмасочное пространство средств индивидуальной защиты органов дыхания с помощью люминесцирующих аэрозолей. МЗ России, М.: -2004.- 12 с.
7. Полянский Б.А., Бородин Ю.И., Хряков В.В. Люминесцентные исследования органов и систем. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1983. – 170 с.
8. Горбачев Н.Б., Миронов Л.А., Соловьева А.И. Устройство для контроля плотности прилегания противопылевых респираторов. Информационный листок № 185-85 Орловского межотраслевого территориального центра научно-технической информации и пропаганды. г. Орел, 1985.
9. Миронов Л.А., Егорова Г.И. Гигиеническое обоснование применения средств индивидуальной защиты в производствах ППУ. - В кн. Медико-

биологические проблемы пенополиуретанов: Сб. научных работ. М.: МЗ РСФСР, 1989. - С. 88-94.

10. Миронов Л.А., Егорова Г.И. Актуальные вопросы эффективного применения средств индивидуальной защиты работающих с вредными веществами. – В кн. Эколого-гигиенические проблемы сохранения здоровья населения: Материалы научно-практ. конф.. Москва - Нижний Новгород, 1999. - С. 258-262.

11. Миронов Л.А. Значение подсоса загрязненного воздуха в подмасочное пространство фильтрующих респираторов и методы его обнаружения. – Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты. - № 3 (15). - 2002. - С. 33-35.

12. Миронов Л.А. В зоне риска / Охрана труда и социальное страхование: Охрана труда, средства защиты. № 10. - 2006. - С. 18-22.

13. Мокеева Н.В., Бобоха М.А., Миронов Л.А. О профессиональных заболеваниях медицинских работников и мерах их профилактики. Сб. «Проблемы гигиенической безопасности и управления факторами риска для здоровья населения». Научные труды Федерального научного центра гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана. - Вып. 14. - С. 163-165.

14. Миронов Л.А. К вопросу о защите медицинских работников от респираторных заболеваний / Безопасность и охрана труда. № 3.- 2004. - С. 41-43.

15. Типовые отраслевые нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам организаций здравоохранения и социальной защиты населения, медицинских научно-исследовательских организаций и учебных заведений, производств бактериальных и биологических препаратов, материалов, учебных наглядных пособий, по заготовке, выращиванию и обработке медицинских пиявок. Утв. постановлением Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 29

декабря 1997 г. № 68. Нормы бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты. Т. I., - М.:1998. - С. 499-528.

16. Буянов В.В., Супрун И.П. Средства индивидуальной защиты для работ в микробиологических и вирусологических лабораториях. Черноголовка.- 2001., 323 с.

17. Методические указания «Профилактика и ранняя диагностика профессиональных заболеваний медицинских сестер, проводящих медикаментозную терапию. Утв. МЗ СССР № 4151-86 от 2.10.1986.

РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ФИЛЬТРОВ С ТКАНЯМИ ПЕТРЯНОВА

Ровный С.И., Пятин Н.П., Алексеев Ю.Г., Транчук О.А., Пузанов Л.А., Максимов В.Е.

ФГУП «ПО "Маяк"», г. Озерск, Челябинская область

Ключевые слова: фильтры Петрянова, срок эксплуатации.

Производственная деятельность предприятий ядерного топливного цикла неразрывно связана с образованием радиоактивных аэрозолей, очистка которых очевидна.

На ФГУП «ПО "Маяк"» в качестве барьеров для защиты воздушного бассейна и персонала широко используются фильтры ФП (до 8000 шт.) на вытяжных и приточных вентиляционных системах. Для снаряжения фильтрующих элементов применяются, как правило, ткани ФПП-15-1.5 или ФПА-15-2.0. В качестве альтернативы ткани ФПА в лабораторных и производственных условиях изучен материал ФПСФ-15, который по сравнению с аналогом имеет более высокую степень очистки и химическую стойкость, термодеструкция обоих материалов протекает идентично. Как показали результаты исследований, ФПСФ обладает достаточной прочностью и удлинением при разрыве. Опытно-промышленные образцы фильтров типа Д-13У и В-0.4 с тканью ФПСФ успешно проходят испытания в условиях радиохимического и изотопного производств.

Следует отметить, что срок службы фильтров ФП зависит от условий эксплуатации и в большинстве случаев критериями для их замены являются:

-снижение коэффициентов очистки ниже оптимальных значений;

-увеличение аэродинамического сопротивления выше допустимых значений;

-накопление делящихся материалов до установленных уровней;

-достижение допустимых значений МЭД от накопленной активности на фильтре;

-накопление пожаро- или взрывоопасных веществ в фильтрующем слое до уровня допустимых количеств.

Однако, в ряде случаев, фильтры работают в "идеальных" условиях, например, как стерегущая защита, на выбросах с незначительными весовыми концентрациями и объемными активностями радиоактивных аэрозолей. Ввиду того, что их эксплуатация в конечном итоге неразрывно связана с радиационной безопасностью персонала, должен быть установлен предельный срок службы. К сожалению, в нормативной документации на фильтры Петрянова, как и для большинства фильтров, он отсутствует.

В этой связи на ФГУП «ПО "Маяк"» проведены исследования по оценке предельного срока эксплуатации фильтров ФП. На протяжении длительного периода времени на радиохимическом и химико-металлургическом производствах проводились ресурсные испытания штатных фильтров ФП (с материалами ФПП и ФПА), а также опытно-промышленных, снаряженных материалами РФМ-1.7, ФПСФ-15 и ФПП-15 с подложкой из ткани технической суровой [1. 2]. Результаты испытаний представлены в табл. 1 - 3.

Исходя из данных табл. 1-3. следует отметить устойчивую работу опытно-промышленных фильтров на протяжении всего периода эксплуатации. Некоторые изменения коэффициентов очистки одного и того же фильтра со временем связаны с колебаниями входной концентрации бета-активных аэрозолей.

Таблица 1.

Коэффициенты очистки фильтров с материалом РФМ-1.7

Год	Фильтр № 1	Фильтр № 2	Фильтр № 3
	Коэффициент очистки		
1997	$(7.2 \pm 0.3) \cdot 10^2$	$(5.7 \pm 5.1) \cdot 10^3$	$(2.3 \pm 0.1) \cdot 10^3$
1998	$(1.1 \pm 0.4) \cdot 10^3$	$(2.9 \pm 1.3) \cdot 10^3$	$(2.3 \pm 1.1) \cdot 10^4$
1999	$(1.0 \pm 0.2) \cdot 10^3$	$(1.3 \pm 0.3) \cdot 10^3$	$(3.2 \pm 7.8) \cdot 10^4$
2000	$(3.2 \pm 2.4) \cdot 10^3$	$(4.9 \pm 3.0) \cdot 10^3$	$(3.4 \pm 0.8) \cdot 10^3$
2001	$(9.9 \pm 4.4) \cdot 10^2$	$(5.5 \pm 3.8) \cdot 10^3$	$(2.6 \pm 2.3) \cdot 10^5$
2002	$(4.5 \pm 1.4) \cdot 10^2$	$(1.1 \pm 0.4) \cdot 10^4$	$(3.1 \pm 1.2) \cdot 10^4$
2003	$(1.7 \pm 0.9) \cdot 10^3$	$(1.5 \pm 0.8) \cdot 10^4$	$(5.2 \pm 1.7) \cdot 10^4$
2004	$(3.4 \pm 1.2) \cdot 10^2$	$(2.7 \pm 2.5) \cdot 10^4$	$(7.1 \pm 3.3) \cdot 10^4$
2005	$(3.8 \pm 1.2) \cdot 10^2$	$(2.2 \pm 1.9) \cdot 10^4$	$(7.1 \pm 5.1) \cdot 10^4$
2006	$(1.9 \pm 1.2) \cdot 10^3$	$(5.4 \pm 3.9) \cdot 10^3$	$(5.9 \pm 2.9) \cdot 10^4$

Примечание: поверхностная плотность материала составляла:
для фильтра № 1 – 50, для № 2 – 60, для № 3 – 70 г/м².

Таблица 2.

Коэффициенты очистки фильтров, снаряженных материалом ФПП-15-3.0
с подложкой из ткани технической суровой

Год	Фильтр № 1	Фильтр № 2
	Коэффициент очистки	
1998	$(3.4 \pm 2.5) \cdot 10^3$	$(2.9 \pm 1.4) \cdot 10^3$
1999	$(2.2 \pm 0.9) \cdot 10^3$	$(1.8 \pm 0.9) \cdot 10^3$
2000	$(7.1 \pm 3.1) \cdot 10^2$	$(7.1 \pm 3.5) \cdot 10^2$
2001	$(2.3 \pm 1.0) \cdot 10^3$	$(2.2 \pm 1.4) \cdot 10^3$
2002	$(8.3 \pm 5.6) \cdot 10^2$	$(3.0 \pm 1.3) \cdot 10^4$
2003	$(1.3 \pm 0.9) \cdot 10^5$	$(2.8 \pm 0.8) \cdot 10^4$
2004	$(2.4 \pm 2.2) \cdot 10^6$	$(1.6 \pm 1.4) \cdot 10^5$
2005	$(3.5 \pm 2.4) \cdot 10^4$	$(1.7 \pm 0.4) \cdot 10^4$
2006	$(4.0 \pm 3.6) \cdot 10^3$	$(5.2 \pm 3.5) \cdot 10^3$

Таблица 3.

Коэффициенты очистки фильтра с тканью ФПСФ-15

Год	Коэффициент очистки
2002	$(7.1 \pm 4.2) \cdot 10^2$
2003	$(6.6 \pm 4.3) \cdot 10^3$
2004	$(5.4 \pm 4.9) \cdot 10^2$
2005	$(2.4 \pm 1.4) \cdot 10^2$
2006	$(2.7 \pm 2.1) \cdot 10^2$

Значения коэффициентов очистки значительно зависят от места установки фильтра, т.е. от входной концентрации бета-активных нуклидов, а также расхода воздуха через фильтрующий элемент. Поскольку все опытно-промышленные фильтры установлены на разных вытяжных системах, значения коэффициентов существенно отличаются. Необходимо отметить, что на протяжении всего периода эксплуатации все опытно-промышленные фильтры стабильно обеспечивали выходную концентрацию бета-активных аэрозолей существенно ниже ДООА по НРБ-99.

Накопленный на ФГУП «ПО «Маяк»» опыт эксплуатации штатных фильтров Петрянова, отработавших на очистке вытяжного вентиляционного воздуха производственных помещений длительное время, показал, что, как правило, через 10 лет работы фильтров происходит снижение коэффициентов очистки, по всей видимости, из-за деструкции фильтрующего слоя и снятия электростатического заряда с материала ФПП. Наблюдается «старение» фильтрующего материала и подложки (марли), а также корпуса фильтров (фанеры) под воздействием радиоактивных и химических веществ в очищаемом воздухе и окружающей среде. Так, например, у фильтров ФП, отработавших на химико-металлургическом производстве предприятия более 10 лет в «идеальных условиях» (в качестве второй и третьей ступеней очистки),

наблюдалось разрушение фильтрующего материала даже при незначительной разрывной нагрузке.

Таким образом, по результатам ресурсных испытаний показано, что эксплуатация фильтров Петрянова в системах очистки вытяжного вентиляционного воздуха более 10 лет нецелесообразна вне зависимости от места их установки в технологических производствах ЯТЦ, особенно в тех случаях, когда отсутствует контроль их эффективности работы.

По результатам исследований на ФГУП «ПО "Маяк"» установлен предельный срок эксплуатации фильтров ФП равный 10 годам.

Литература.

1. Ровный С.И., Пятин Н.П., Проничев М.В., Лызлова Г.А., Тихомиров Ю.В. Использование новых материалов подложек ткани ФПП для фильтров Петрянова / Атомная энергия. - Т. 87, вып. 4. - 1999. – С. 261-266.
2. Ровный С.И., Пятин Н.П., Блинничева О.А.. Вентиляционные модифицированные фильтры на основе стеклобумаги и материала из полисульфона. Доклад на Первой Российской школе по радиохимии и ядерным технологиям. Тезисы доклада. - Озерск, 23-27 августа 2004 г. - С. 80-83.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ СИЗОД НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ФП

Каминский С.К.

Международная Академия наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: СИЗОД, респиратор, противогаз, работоспособность человека.

В докладе представлены материалы испытаний основных типов фильтрующих СИЗОД, полученных в различные годы в лаборатории СИЗ Ленинградского института охраны труда.

Проведено несколько серий опытов, в которых испытуемые выполняли дозированные нагрузки различной интенсивности и продолжительности.

Изучались физиологические реакции на использование различных типов фильтрующих СИЗОД, в которых в качестве фильтров использовался фильтрующий материал ФПП. Основные типы СИЗОД и величины создаваемых ими сопротивлений дыханию приведены в табл. 1.

В первой серии опытов изучали работоспособность человека при выполнении работы на велоэргометре с возрастающей мощностью от 60 Вт, увеличивающейся в среднем на 50 Вт каждые три минуты до уровней мощности, предельных для испытуемого. При этом определялись частота сердечных сокращений по электрокардиограмме, частота дыханий (по пневмограмме), минутный объем дыхания и газообмен, насыщение крови кислородом (по оксигевограмме).

Таблица 1.

Характеристика изученных СИЗОД

Тип СИЗОД	Сопротивление при 30 л/мин, Па		Конструктивные особенности
	вдоху	выдоху	
Противопылевой респиратор	30	30	Фильтрующая полумаска без клапанов
Патронный респиратор	70 - 90	40	Респиратор с резиновой полумаской с одним или двумя фильтрующими патронами и клапаном выдоха
Промышленный противогаз	176 - 190	120	Противогаз со шлем-маской и фильтрующей коробкой большого габарита
Фильтрующий респиратор с принудительной подачей воздуха (СПФ)	+58	136	Опытный образец респиратора ИРП-1 в комплекте с полумаской, клапаном выдоха, фильтрующим элементом с вмонтированным микровентильатором, подающим в лицевую часть воздух в количестве 125 л/мин

Было установлено, что при увеличении сопротивления дыханию у всех испытуемых уменьшалась предельная мощность выполняемой работы. При свободном дыхании и в респираторах испытуемым удавалось выполнить работу мощностью до 300 Вт. При использовании противогаза предельная мощность выполняемой работы уменьшилась до 250 Вт. При более низких мощностях (от 150 до 300 Вт) уменьшалось время работы, и испытуемые не могли выполнить задание в течение трех минут, особенно при использовании противогаза. Полученные данные свидетельствуют о снижении работоспособности человека при дыхании в СИЗОД с повышенным сопротивлением, особенно при больших физических нагрузках. Из рис. 1 видно, что при нагрузке свыше 200 Вт количество выполненной работы при дыхании в респираторах уменьшается, примерно, на 20 %, а в противогазе – на 30 %. При более интенсивных нагрузках работоспособность снижается еще более

существенно и проявляются отличия между противопылевым и противогазовым респиратором. Так, при нагрузке 250 Вт уменьшение выполненной работы в противопылевом респираторе составляет 40 %, в противогазовом респираторе - 60 %, в противогазе – 70 % (рис. 1).

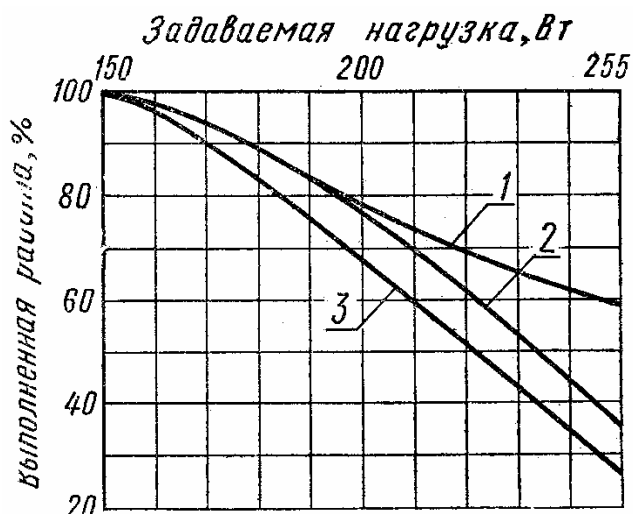


Рис. 1. Работоспособность человека в различных СИЗОД:
 1 - при свободном дыхании и в респираторе ШБ-1 «Лепесток»;
 2 – в патронных респираторах; 3 – в противогазе

Оценка состояния изученных физиологических функций показала, что вследствие снижения работоспособности применение СИЗОД увеличивает рабочее напряжение организма по сравнению с напряжением при такой же работе, но без этих средств. Утомление становится более выраженным и наступает раньше.

При использовании респираторов отмечалось только некоторое повышение физиологических затрат на дыхание (увеличивались частота сердечных сокращений и дыхания при сохранении легочной вентиляции и газообмена). При работе в противогазе на фоне учащения пульса отмечалось уменьшение минутного объема дыхания, из-за чего испытуемые были вынуждены прекращать работу при более низких мощностях.

Вторая серия опытов проводилась с целью определения причин снижения легочной вентиляции при использовании СИЗОД.

Опыты проводились при выполнении работы средней тяжести (75 Вт) на велоэргометре в течение 1 ч при дыхании с повышенными сопротивлениями вдоху, характерным для различных СИЗОД. При этом изучались показатели структуры дыхательного цикла и работы дыхательной мускулатуры путем синхронной регистрации скоростей воздушных потоков на входе и выходе и колебаний давления под лицевой частью и в грудной клетке.

По этим данным рассчитывали величины работы дыхательной мускулатуры в минуту (Дж/мин) и на литр легочной вентиляции (Дж/л). Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Показатели биомеханики дыхания при работе средней тяжести

Показатели	Тип СИЗОД		
	Контроль (до 50 Па)	Респиратор (до 100 Па)	Противогаз (до 200 Па)
Максимальное давление под маской на входе, Па	150	320	560
Максимальное давление под маской на выходе, Па	50	50	50
Удельный максимальный расход воздуха при входе, л/(мин·Па)	0.61	0.35	0.26
Перепады давления в грудной клетке, Па	610	1010	1170
Работа дыхательных мышц, Дж/мин	8.6	18.9	26.8

Данные табл. 2 показывают, что с ростом сопротивления вдоху увеличиваются механические затраты на дыхание – возрастает подмасочное и внутригрудное давление, снижается удельный расход воздуха, поступающего в органы дыхания, что свидетельствует об

увеличении механической стоимости 1 л воздуха. В результате этого возрастает величина работы дыхательной мускулатуры. Так, при использовании противогаза работа дыхательных мышц увеличивается, примерно в три раза по сравнению дыханием при минимальном сопротивлении, а при работе в респираторе – на 40 %, при этом механическая стоимость 1 л воздуха увеличивается более, чем на 30 %.

В ответ на это организм стремится уменьшить механические затраты путем снижения легочной вентиляции, что приводит к уменьшению потребления кислорода и ухудшению насыщения крови кислородом (рис. 2). Кроме того, значительная часть поступающего в организм кислорода при дополнительном сопротивлении дыханию расходуется на повышенную работу дыхательных мышц, характеризующихся низким КПД, и таким образом ухудшается газообмен.

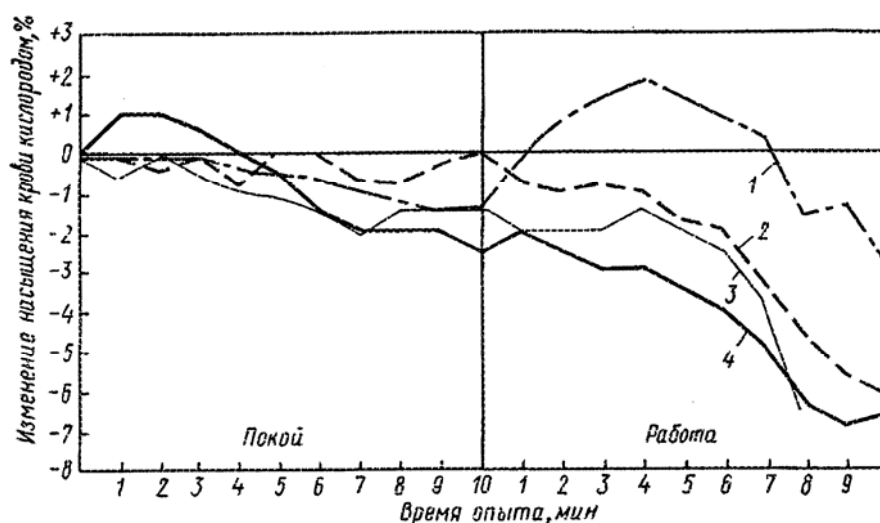


Рис. 2. Динамика изменения насыщения крови кислородом в покое и при нагрузке средней тяжести в различных СИЗОД. 1 – свободное дыхание; 2 – в противопоылевом респираторе; 3 – в газопылезащитном респираторе; 4 – в противогазе

Показатели биомеханики дыхания являются критерием степени воздействия сопротивления вдоху и выдоху на организм. По данным клинических физиологов величина работы дыхательных мышц,

составляющая 0.5 % от общей выполняемой работы, свидетельствует о нарушении дыхания и развитии одышки. Полученные нами данные показывают, что при нагрузке средней тяжести работа дыхания превышала 0.5 % от общей выполняемой работы при использовании противогаза.

В последние годы для уменьшения сопротивления предлагаются новые конструкции фильтрующих СИЗОД, оснащенные микровентилятором, который протягивает воздух через фильтр и подает его в лицевую часть в избыточном количестве, обеспечивая положительное давление в фазе вдоха. Выдыхаемый воздух удаляется наружу через клапан выдоха.

Нами проведены физиологические исследования опытной модели такого респиратора (ИРП-1). В связи с тем, что в респираторе воздух принудительно подается в полумаску в избытке, показатели легочной вентиляции определялись в восстановительном периоде, когда испытуемый подключался к загубнику.

Частота пульса и дыхания регистрировалась в течение опыта как при выполнении нагрузки, так и в восстановительном периоде.

Полученные данные показали, что при выполнении весьма тяжелой физической работы (потребление кислорода около 1850 мл/мин) в респираторе ИРП-1 средний уровень частоты сердечных сокращений практически не отличается от условий контрольных опытов. Не обнаружено также существенных различий в потреблении кислорода и в минутном объеме дыхания в восстановительном периоде.

Различия отмечаются только в частоте дыхательных движений во время работы и в первую минуту восстановительного периода. Более редкое дыхание в контрольных опытах, по-видимому, связано с влиянием сопротивления вдоху клапанной коробки, которая отсутствует при дыхании в респираторе ИРП-1.

Заключение

1. При использовании респираторов с сопротивлением вдоху до 50 Па работоспособность человека не нарушается, однако отмечается незначительное повышение «физиологической стоимости» выполняемой работы.

2. При использовании противогазов наступает снижение работоспособности, выражающееся в уменьшении величины и продолжительности выполняемых физических нагрузок.

3. При работе в фильтрующих СИЗОД с принудительной подачей воздуха физиологические функции и уровень работоспособности человека не изменяются по сравнению с дыханием без СИЗОД.

4. Основной причиной снижения работоспособности человека в СИЗОД является увеличенная работа дыхательных мышц, связанная с повышенным сопротивлением дыханию, что приводит к увеличению «кислородной стоимости дыхания» и соответственно к снижению эффективности увеличенной легочной вентиляции во время работы. Утомление становится все более выраженным и наступает раньше, чем при выполнении аналогичной работы без СИЗОД.

5. В процессе тренировки дыхания в СИЗОД наступает уменьшение механических затрат на легочную вентиляцию, в связи с чем улучшаются условия дыхания.

6. Полученные данные позволили обосновать требования к режимам труда и отдыха при работах в СИЗОД с различным сопротивлением дыханию.

Литература

1. Каминский С.Л. Спироэргометрические исследования влияния на человека внешнего сопротивления дыханию. - Сб. научн. работ ин-тов охр. труда ВЦСПС- М.: Профиздат, вып. 92. 1974.- с. 44-48.

2. Никифоров И.Н., Каминский С.Л. Результаты испытаний опытного респиратора с принудительной фильтрацией воздуха для защиты органов дыхания от больших концентраций пыли. – Сб. научн работ ин-тов охр. труда ВЦСПС. – М.: Профиздат, 1975. вып. 97. – с. 67 – 72.

3. Каминский С.Л. Сопротивление дыханию в респираторах и противогазах как источник дополнительного рабочего напряжения. В кн. Физиологические вопросы охраны труда. – М.: ВЦНИИОТ. 1977.- с. 66-73.

4. Каминский С.Л. Физиологические критерии при оценке средств индивидуальной защиты органов дыхания. - В кн. Проблемы разработки и испытания средств индивидуальной защиты органов дыхания. Темат. сб. науч. трудов ВЦНИИОТ ВЦСПС, М., 1977, с. 12 – 22.

5. Каминский С.Л., Басманов П.И. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. – М.: Машиностроение, 1982. - 128 с.

6. Каминский С.Л., Смирнов К.М. Эргономическая характеристика СИЗ.- В кн.: Средства индивидуальной защиты: Справ, изд. — Л.: Химия, 1989. — с. 29 — 54.

7. Каминский С.Л., Коробейникова А.В. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Выбор, применение, режимы труда. Методические рекомендации. – СПб.: «Крисмас+», 1999. – 96 с.

8. Каминский С.Л. Основы рациональной защиты органов дыхания на производстве. Учебное пособие. – СПб.: «Перспект науки», 2007. - 208 с.

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТРУДНОГОРЮЧИХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОБУМАГИ

Глаголенко Ю. В.¹, Ровный С.И.¹, Пятин Н.П.¹, Транчук О.А.¹,
Афанасьева Е. В.²

¹ФГУП «ПО "Маяк"», г. Озерск, Челябинская область

²ЗАО «Плазмочист», г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: фильтры ФП, стеклобумажные фильтры.

Очистка газоаэрозольных выбросов предприятий ядерного топливного цикла является важной частью технологического процесса.

В настоящее время для очистки вытяжного вентиляционного воздуха и технологических сдувок от радионуклидов в России широко используются фильтры ФП (типа ЛАИК). Ткань Петрянова на основе полимерных волокон и марлевая подложка, применяемые в данных фильтрах, являются горючими материалами, причем при возгорании образуются токсичные вещества. В соответствии с требованиями НП-021-2000 [1] для безопасной эксплуатации газоочистного оборудования должны использоваться трудногорючие фильтры.

В атомной промышленности за рубежом применяются фильтры типа HEPA и ULPA на основе стеклобумаги из микротонкого волокна. Стекловолокнистые фильтры тонкой очистки воздуха пожаробезопасны, основное сырье - стекло является доступным материалом.

В последнее десятилетие на ФГУП «ПО "Маяк"» много внимания уделяется разработке и испытаниям отечественных стеклобумажных фильтров. Совместно с ЗАО «Плазмочист» (г. Санкт-Петербург) разработана конструкторская документация на 16 типоразмеров модифицированных трудногорючих фильтров на основе стеклобумаги

(ФТОВ-Бм и ФТОВ-СБМ), в том числе и в быстроразборном исполнении (Д-19Ф – аналог Д-19М) (табл. 1).

Таблица 1.

Модифицированные стеклобумажные фильтры ФТОВ-СБМ

Тип фильтра	Основной конструкционный материал	Площадь фильтрующей поверхности, м ²	Тип сепаратора	Номер чертежа
Д-13УМ	Корпус модулей и фильтра – фанера	19	Алюминиевый	ФТОВ-СБМ 100СБ
Д-19М	То же	22	»	ФТОВ-СБМ 200СБ
Д-28УМ	»	31.4	»	ФТОВ-СБМ 300СБ
Д-12УМ	»	20	Нитяной	ФТОВ-СБМ 400СБ
Д-6,5М	»	9	»	ФТОВ-СБМ 500СБ
В-0.4М	Корпус фильтра – полистирол, модуля – фанера	0.5	»	ФТОВ-СБМ 600СБ
В-0.4М	Корпус фильтра - углеродистая сталь, модуля - фанера	0.5	»	ФТОВ-СБМ 700СБ
А-5.3М	Корпус фильтра – углеродистая сталь, модуля- алюминий	8	Алюминиевый	ФТОВ-СБМ 800СБ
Д-13.5УМ	Корпус модулей и фильтра – фанера	22.4	Нитяной	ФТОВ-СБМ 900СБ
Д-14УМ	То же	14	»	ФТОВ-СБМ 1000СБ
Д-15УМ	»	23	»	ФТОВ-СБМ 1100СБ
Д-23М	»	30	»	ФТОВ-СБМ 1200СБ
Д-33М	»	41.2	»	ФТОВ-СБМ 1300СБ
А-17М	Корпус фильтра – углеродистая сталь, модуля –алюминий	30	Алюминиевый	ФТОВ-СБМ 1400СБ

Фильтры модифицированы в габаритах стандартных фильтров Петрянова (ЛАИК), что исключает реконструкцию систем вентиляции и газоочистки при их установке на действующем производстве. Отличительной особенностью конструкции фильтров является «Л» или «М»-образная конфигурация фильтрующих элементов, что позволяет увеличить поверхность фильтрации, повысить эффективность и ресурс,

уменьшить энергозатраты. Корпус фильтра может быть выполнен металлическим или из фанеры, обработанной огнезащитным составом, например, "Пирилакс", что обеспечивает перевод фильтра в класс трудногорючих [2]. На рис. 1 в качестве примера представлены конструкции фильтров Д-13УМ и Д-28УМ.

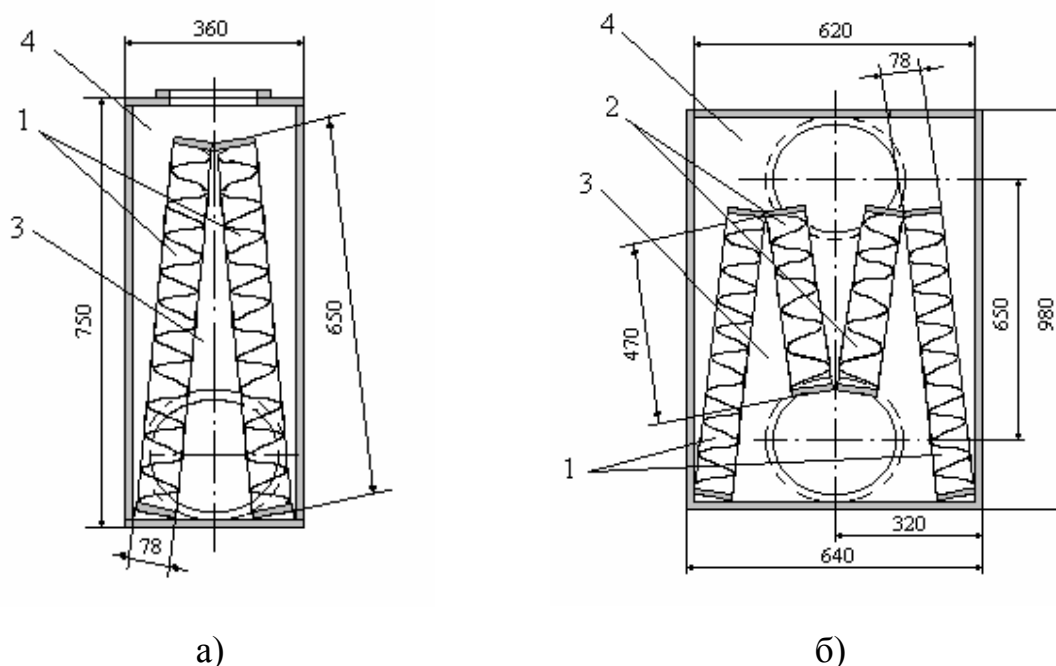


Рис. 1. Конструкция модифицированных стеклобумажных фильтров типов Д-13УМ (а) и Д-28УМ (б)

1, 2 – стеклобумажные модули; 3 – свободное пространство фильтра на входе;
4 – свободное пространство фильтра на выходе.

В модулях опытно-промышленных фильтров ФТОВ-Бм использованы стеклобумажные фильтрующие элементы, изготовленные на установке ЗАО «Плазмофильтр» из отечественного микротонкого стекловолокна. При изготовлении модифицированных фильтров ФТОВ-СБМ применяли фильтровальный материал для высокоэффективной очистки воздуха фирмы «J. C. Binzer» (Германия). В процессе сборки фильтров типа ФТОВ-СБМ можно использовать также модули и с алюминиевыми корпусами вместо деревянных. Это повлечет за собой незначительные изменения в конструкции фильтра.

Опытно-промышленные образцы модифицированных трудногорючих фильтров, начиная с 1996 г., успешно проходят испытания на вытяжных вентиляционных системах радиохимического и химико-металлургического производств ФГУП «ПО "Маяк"».

Ресурсные испытания двух стекlobумажных фильтров типа ФТОВ-Бм на системе очистки вытяжного вентиляционного воздуха из помещений первой зоны завода по регенерации отработавшего ядерного топлива показали, что в течение девяти лет работы трудногорючие фильтры на основе стекlobумаги по эффективности очистки не уступали штатным фильтрам Петрянова. Объемная активность β -излучающих аэрозолей после них, как и после штатных фильтров, находилась на уровне 10^{-2} - 10^{-4} Бк/м³, что существенно ниже допустимой величины по НРБ-99.

В 2001 г. на системе очистки вытяжного вентиляционного воздуха завода по регенерации отработавшего ядерного топлива был установлен еще один фильтр на основе стекlobумаги, но уже типа ФТОВ-СБМ (Д-13УМ). Следует отметить, что за три года работы коэффициенты очистки фильтра составили 10^3 - 10^4 . При этом объемная активность β -излучающих аэрозолей после него оставалась на уровне 10^{-3} - 10^{-4} Бк/м³.

Фильтры на основе стекlobумаги типа ФТОВ-СБМ (Д-28УМ, Д-19М, Д-19Ф) также успешно проходят опытно-промышленные испытания в условиях химико-металлургического производства ПО "Маяк". Они установлены в качестве локальных ступеней и предназначены для предварительной очистки вытяжного вентиляционного воздуха из помещений первой зоны и предотвращения отложения радионуклидов в газоходах вентиляционных систем. К настоящему времени ресурсные испытания прошли два фильтра типа Д-19М и четыре фильтра Д-19Ф. Замена фильтров была обусловлена накоплением на них α -излучающих нуклидов до уровня допустимых значений. Коэффициенты очистки всех

фильтров во время работы были стабильно высокими и находились на уровне 10^3 - 10^4 .

Ресурсные испытания показали, что стекlobумажные фильтры по своим техническим характеристикам не уступают используемым в настоящее время фильтрам ФП, обеспечивая степень очистки более 99.9 %. Однако, как показывают испытания, стекlobумага так же, как и ткань Петрянова, чувствительна к влаге. Максимальную эффективность очистки стекlobумажные фильтры показывают на «сухих» сдвухах.

В настоящее время разработана технология извлечения из отработавших фильтрующих элементов ценных компонентов, например, плутония [3]. Опытные проверки показали ее высокую эффективность. Данные, полученные при испытаниях метода регенерации в производственных условиях, показывают, что в технологический процесс могут быть возвращены значительные количества ценных компонентов.

Таким образом, созданы все предпосылки для организации в промышленном масштабе на ФГУП «ПО "Маяк"» технологического цикла, включающего изготовление стекlobумажных фильтров, очистку воздуха от радионуклидов, последующее извлечение ценных компонентов и захоронение фильтрующего материала.

Литература

1. НП-021-2000. Обращение с газообразными радиоактивными отходами. Требования безопасности.
2. Аэрозольный фильтр. Патент на полезную модель № 65398. Приоритет 28 ноября 2006 г.
3. С.И. Ровный, В.И. Гужавин, Н.П. Пятин, Д.С. Евланов. Регенерация плутония из отработавших стекlobумажных фильтров тонкой очистки воздуха // Атомная энергия. - 1998. – Т. 92. вып. 3. - С. 201-204.

РЕСПИРАТОР БЕСКОРОБОЧНЫЙ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ФИЛЬТРО-СОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Зарипов И.Н., Шупленко О.Г., Байрамова В.Р., Фатхутдинов Р.Х.

ОАО «КазХимНИИ», г. Казань

Ключевые слова: СИЗОД, фильтр Петрянова, фильтросорбирующие материалы, целлюлозное волокно, активированный уголь.

Для предотвращения массового поражения в результате природных, техногенных чрезвычайных ситуаций и террористических актов необходимо предусмотреть оснащение населения новейшими средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). Разработка и освоение промышленностью новых высокоэффективных композиционных защитных материалов и изделий на их основе для защиты от аварийно и химически опасных веществ (АХОВ) является важной задачей.

ОАО «КазХимНИИ» разработал и производит уникальный капюшон защитный универсальный (КЗУ), в котором использованы новые, не имеющие мировых аналогов фильтро-сорбирующие материалы на основе целлюлозных волокон. Основные компоненты: недорогое возобновляемое сырье, катализаторы и активные угли или смеси углей различных марок, обладающих развитой поверхностью и высокой эффективностью адсорбции вредных химических веществ. Материал имеет необходимую пористость и низкое сопротивление дыханию, что обеспечивает наряду с высокими защитными свойствами комфортные условия носки.

Фильтро-сорбирующий материал получается по высокопроизводительной технологии, используемой в целлюлозно-бумажной промышленности.

Защитный капюшон представляет собой надеваемый на голову многослойный шлем, выполненный из внешнего огнестойкого и

внутреннего фильтро-сорбирующего слоев с манжетой из эластичного материала в нижней части шлема. Шлем обустроен смотровым экраном панорамного типа и подмасочником с клапаном выдоха. Устройство крепления подмасочника, расположенное на внешнем огнестойком слое, представляет собой продетые в кулиски шнуры-стяжки из эластичного материала, длина которых регулируется ограничителями.

Внутренний фильтро-сорбирующий слой включает один слой фильтрующего материала (ФПП или ФПКС), два слоя сорбирующего материала и внутренний гигиенический слой.

Принцип работы капюшона заключается в следующем: загрязненный воздух по всей поверхности шлема через защитные фильтро-сорбирующие материалы поступает в пространство между головой человека и внутренней поверхностью шлема, далее через клапаны вдоха - в подмасочник и в зону дыхания. Выдыхаемая воздушная смесь через клапан выдоха поступает в окружающую атмосферу. Таким образом, эффективная очистка воздуха осуществляется всей поверхностью шлема через фильтрующе-сорбирующий материал.

Применение капюшона обеспечивает высокую степень защиты органов дыхания, глаз и кожи головы человека от аэрозолей, паров и газов АХОВ (хлора, аммиака, сероводорода, сернистого ангидрида, хлористого водорода, цианистого водорода, хлорциана и диметиламина) не менее 20 мин. Конструкция капюшона обеспечивает быстрое и удобное использование его в экстремальных условиях.

Сопrotивление фильтрующе-поглощающей системы составляет около 2.0 мм вод. ст. при расходе воздуха 30 л/мин. Коэффициент подсоса по масляному туману не превышает 0.05 %. Масса капюшона – не более 300 г.

Защитный капюшон прошёл необходимые испытания и имеет сертификат соответствия аварийно-спасательных средств.

Секция 4

АНТРОПОГЕННЫЕ АЭРОЗОЛИ. УЛАВЛИВАНИЕ И АНАЛИЗ

РАДИОАКТИВНЫЕ АЭРОЗОЛИ В ВЫБРОСАХ ИЗ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В 2001-2006 ГГ.

Огородников Б.И.^{1,2}, Будыка А.К.¹, Краснов В.А.², Хан В.Е.²

¹ ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», Москва

² Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Ключевые слова: Чернобыльская авария, радиоактивные аэрозоли, концентрации, дисперсный состав.

После завершения строительства объекта «Укрытие» в 1986 г., постоянный контроль выбросов из него радиоактивных аэрозолей был организован только в системе «Байпас», связывающей бывший центральный зал 4-го энергоблока с высотной вентиляционной трубой ВТ-2. В декабре 2000 г. был остановлен 3-й энергоблок ЧАЭС, и началось выведение станции из эксплуатации. Таким образом, аэрозольная обстановка на промплощадке стала зависеть преимущественно от выбросов радионуклидов из объекта «Укрытие» и генерации пыли при строительных работах, а также движения транспорта вблизи станции. Это потребовало более углубленного наблюдения за аэрозолями, поступающими из объекта «Укрытие» в высотную вентиляционную трубу ВТ-2.

С 2002 г. специалисты ИПБ АЭС НАН Украины стали проводить в «Байпасе» дополнительные отборы проб радиоактивных аэрозолей с помощью переносной воздуходувки и пакетов трехслойных фильтров Петрянова, разработанных и изготовленных в ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» [1]. Пакеты состояли из наложенных друг на друга слоев материалов ФПА-70-0.1, ФПА-70-0.2 и АФА РМП-20. Это позволило

определять не только концентрации, но и дисперсный состав аэрозолей. Пробы отбирали при скорости потока около 80 см/с, прокачивая 5 – 15 м³ воздуха за 1 – 2 ч. Для обеспечения изокINETичности отбора аэрозолей перед пакетом фильтров устанавливали конусную насадку.

Через 15 – 20 мин после окончания пробоотбора фильтры разбирали на исходные слои и измеряли поочередно через каждые 100 с на радиометре КРК-1. В результате получали кривые уменьшения активности на протяжении 60 – 100 мин. Это позволяло после повторного измерения фильтров через 4 – 6 сут определить β -активность как короткоживущих нуклидов (дочерних продуктов радона и торона), так и долгоживущих (в основном продуктов чернобыльской аварии). Дальнейшую идентификацию радионуклидов выполняли на γ -спектрометрах. По полученным данным определяли концентрации. Исходя из распределения активности на трех фильтрующих слоях, по компьютерной программе рассчитывали параметры логарифмически нормального распределения частиц по размерам: активностный медианный аэродинамический диаметр (АМАД) и стандартное геометрическое отклонение σ [2].

В 2002 – 2006 гг. в «Байпасе» было отобрано около 300 проб аэрозолей. Как правило, концентрации суммарной β -активности ($\Sigma\beta$) аэрозолей-носителей продуктов чернобыльской аварии находились в диапазоне 1 – 10 Бк/м³. При этом около 30 % активности приходилось на ¹³⁷Cs.

На рис. 1 приведены данные с сентября 2003 г. по декабрь 2004 г. [3]. В них не вошли результаты пробоотборов, выполненных во время сеансов пылеподавления, когда из форсунок, расположенных над развалом центрального зала, распыляли растворы различных полимерных веществ. Установлено, что существенное влияние на содержание аэрозолей в центральном зале, оказывает ветер во внешней среде. Так, 8 декабря 2003 г., когда максимальные порывы ветра достигали 12 – 13 м/с, была

зарегистрирована $\Sigma\beta = 165 \text{ Бк/м}^3$. Как видно на рис. 1. эта величина за 15 месяцев наблюдений была максимальной. Концентрации аэрозолей дочерних продуктов радона оставались стабильными. Однако в ряде случаев были зарегистрированы повышенные концентрации дочерних продуктов торона.

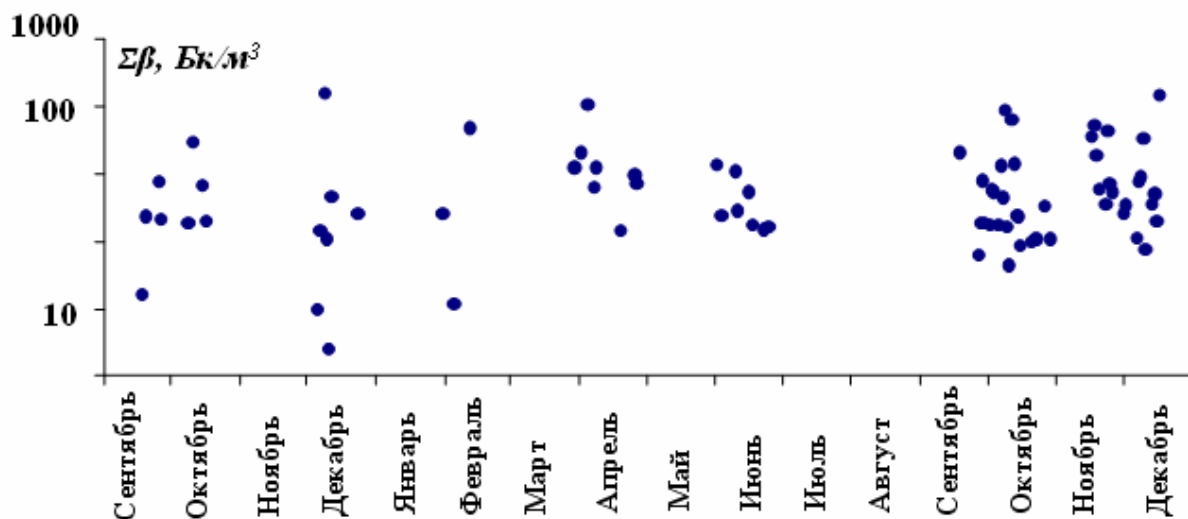


Рис. 1. Объемные активности аэрозолей $\Sigma\beta$ –излучающих нуклидов в «Байпассе» объекта «Укрытие» при преимущественном воздействии природных факторов в 2003 - 2004 гг. (данные при сеансах пылеподавления не включены).

Значительное увеличение $\Sigma\beta$ происходило при интенсивной техногенной деятельности в помещениях объекта «Укрытие». Так, при проведении сеансов пылеподавления (СПП) в бывшем центральном зале и примыкающих к нему помещениях наблюдались кратковременные повышения $\Sigma\beta$. Например, 11 февраля 2004 г. сразу после окончания работы форсунок средняя за 2 ч пробоотбора $\Sigma\beta$ составила 164 Бк/м^3 .

В 2005 г. пробоотборы из «Байпаса» были продолжены [4]. Полученные результаты представлены рис. 2. в «Байпассе» объекта «Укрытие» в 2005 г.

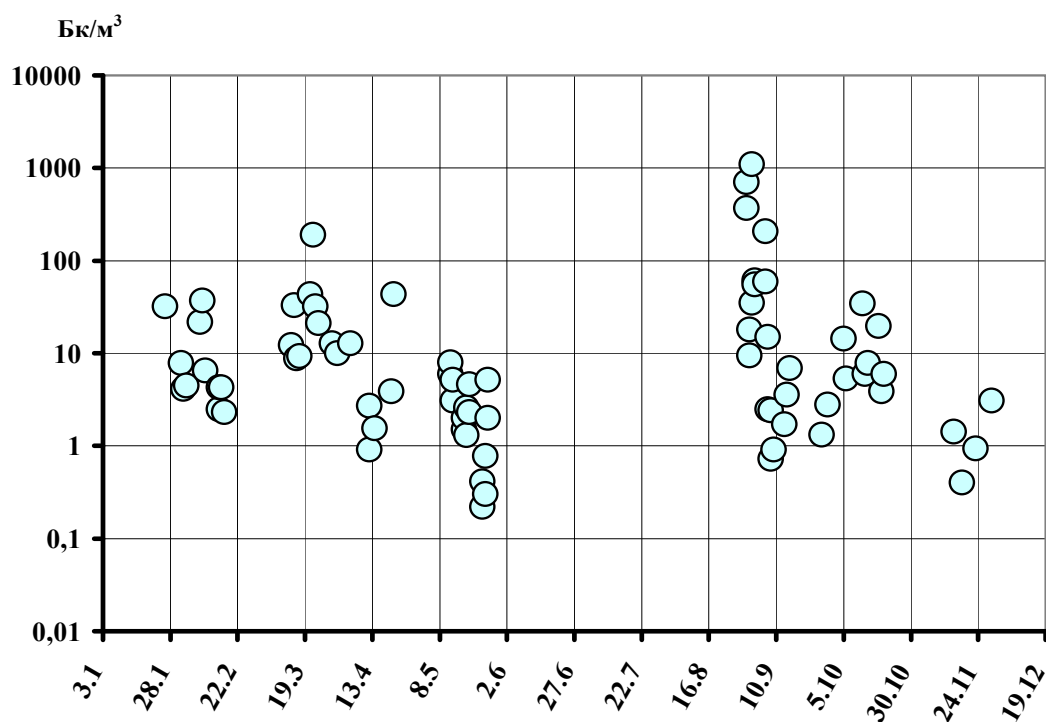


Рис. 2. Объемные активности аэрозолей–носителей $\Sigma\beta$ -излучающих нуклидов в «Байпасе» объекта «Укрытие» в 2005 г.

В конце августа – начале сентября 2005 г. при выполнении строительных стабилизационных мероприятий в южной части объекта «Укрытие», включая сварочные и долбежные работы, наблюдались $\Sigma\beta$, достигавшие 500 – 1000 Бк/м³, что намного превышало концентрации, зарегистрированные в 2003 – 2004 гг. При визуальном осмотре фильтра с пробой, отобранной 1 сентября 2005 г., были хорошо видны несколько черных частиц размером около 1 мм. При γ -спектрометрии фильтра на приборе Cartogam в лаборатории радиационного мониторинга объекта «Укрытие» было выявлено (рис. 3), что это – высокоактивные β -, γ -излучающие частицы. Таким образом, было еще раз показано, что строительные работы могут приводить к резкому повышению общей концентрации радиоактивных аэрозолей в зоне проведения

технологических операций, их переносу через помещения и поступлению в поток, выбрасываемый в атмосферу.

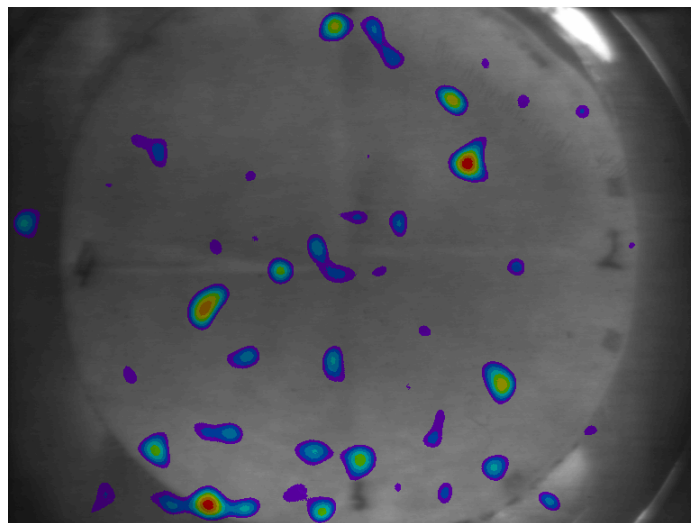


Рис. 3. Результат γ -спектрометрии на приборе “Cartogam” в течение 37 мин первого слоя пакета фильтров с пробой аэрозолей, отобранных в «Байпасе» 1 сентября 2005 г.

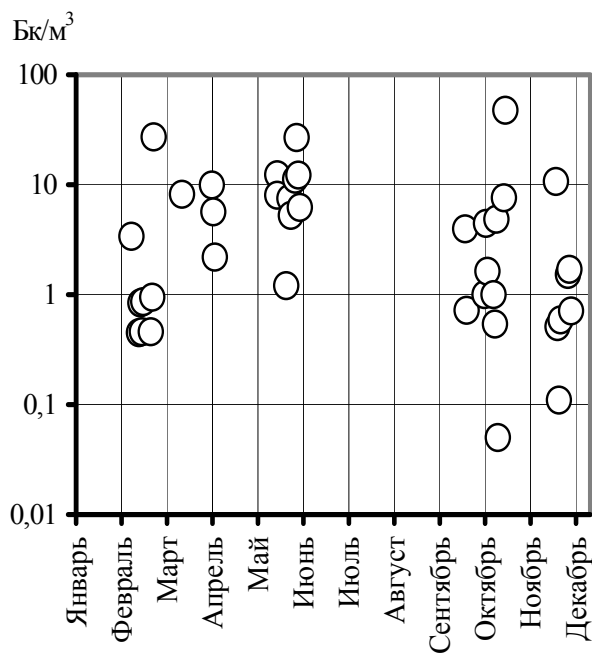


Рис. 4. Объемные активности аэрозолей–носителей $\Sigma\beta$ -излучающих нуклидов в «Байпасе» объекта «Укрытие» в 2006 г.

В 2006 г. программа пробоотборов в «Байпасе» была продолжена [5]. Полученные результаты представлены на рис. 4. Видно, что в большинстве проб величины $\Sigma\beta$, как в 2003 – 2005 гг., находились в диапазоне 1 – 10 Бк/м³. Особый интерес представили пробы (табл. 1), отобранные в феврале 2006 г, когда в южной части объекта «Укрытие» шли работы по стабилизационному мероприятию № 2.

Таблица.

Концентрации радиоактивных веществ (Бк/м³) при отборах аэрозольных проб в феврале 2006 г. в «Байпасе» объекта «Укрытие»

Дата	Время	C _{Cs}	C _{Σβ}	C _{ДПР}	C _{Cs} /C _{Σβ}
08.02	10:32 – 11:58	1.36	3.40	16	0.40
13.02	15:10 – 16:51	0.25	0.45	9	0.55
14.02	09:07 – 11:27	0.78	0.84	10	0.93
15.02	09:07 – 10:18	0.44	0.46	14	0.95
15.02	10:19 – 11:59	0.55	0.86	10	0.64
21.02	09:02 – 11:18	0.22	0.46	10	0.48
22.02	09:21 – 11:10	0.78	0.95	12	0.82
23.02	09:50 – 11:10	5.80	27,20	22	0.21

Примечание: C_{Cs} – концентрация ¹³⁷Cs, C_{Σβ} – концентрация смеси β-излучающих нуклидов.

Как следует из таблицы, в шести из восьми проб концентрации Σβ находились в диапазоне 0.5 – 1 Бк/м³. Это – ниже, чем в 2004 – 2005 гг., когда Σβ обычно составляла 1 – 10 Бк/м³ [3. 4]. В феврале 2006 г. лишь две пробы (8 и 23 февраля) превышали 1 Бк/м³. Можно предположить, что хотя в деаэрационной этажерке в коридоре Г632 и помещениях Г635/3 и Г635/4 работы шли в две смены с интенсивной генерацией аэрозолей (транспортировка материалов, долбежные и сверлильные работы, выравнивание старых бетонных поверхностей, резка и сварка металла, монтаж деревянных и металлических конструкций, укладка бетона и т.п.), значительного воздухообмена с центральным залом не было. Очевидно, основной выброс радиоактивных аэрозолей происходил через проемы в машинный зал и затем на южную сторону объекта «Укрытие».

В этой обстановке особый интерес представила проба, полученная 14 февраля 2006 г. [5]. Осадок на фильтре имел рыжий цвет. Ничего подобного за предыдущие годы наблюдений (около 200 проб) не было. Фильтры, как правило, имели серый цвет. Необычным оказалось и отношение концентрации ¹³⁷Cs и Σβ. Величина 0.93 свидетельствовала, что

аэрозоль обогащен ^{137}Cs . В предыдущие годы указанное отношение обычно находилось в диапазоне 0.2 – 0.7. Так, ни в одной из 70 проб, отобранных в 2004 г., отношение активностей ^{137}Cs и $\Sigma\beta$ не превышало 0.7 [3], а из 78 проб, полученных в 2005 г., лишь в четырех было выше 0.7 [4]. На основании предыдущих исследований [6] было высказано мнение, что 14 февраля в «Байпас» поступили аэрозоли от огневых, в частности сварочных, работ. Руководитель монтажных работ подтвердил, что в этот день с 10 до 12 ч в помещении Г635/3 проводили сварку. Это приводило к поступлению в воздух цезия и двух его оксидов, имеющих температуру возгонки около 650 °С. Далее парообразные вещества осаждались на атмосферных ядрах конденсации размером 0.2 – 0.4 мкм.

15 февраля были отобраны две пробы. В первой осадок на фильтре вновь имел коричневый цвет, но менее интенсивный, чем накануне. Во второй осадок был светло-серого цвета. Как следует из таблицы, концентрации $\Sigma\beta$ по сравнению с предыдущим днем практически не изменились. Сохранилось в первой пробе и отношение концентраций ^{137}Cs и $\Sigma\beta$ (0.95). Однако во второй пробе оно снизилось до 0.64 и оказалось близким к средним результатам 2004 – 2005 гг. Бригадир монтажников сообщил, что 15 февраля сварочных работ не проводили. Таким образом, можно предположить, что утром 15 февраля в «Байпас» продолжали поступать аэрозоли, образовавшиеся при сварочных работах накануне и заполнившие в тот день центральный зал и другие помещения объекта «Укрытие».

Обработка результатов измерений распределений радиоактивных веществ по трем слоям пакетов фильтров показала, что в 2002 - 2006 гг. радионуклиды-продукты чернобыльской аварии практически всегда имели АМАД в диапазоне 1 – 10 мкм при величинах σ от 1.1 до 3.5. Например, величины АМАД для 80 проб, отобранных в 2003 – 2004 гг., были представлены в логарифмически нормальных координатах. Получено, что

50 %-ный интервал приходился на АМАД = 3.8 мкм, а 67 % проб имели АМАД от 1.7 до 8,5 мкм. Фракционирования ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{154}Eu , ^{241}Am по частицам различных размеров не наблюдалось. В то же время дочерние продукты радона и торона имели АМАД в диапазоне от 0.02 до 0.8 мкм. Причем 50 %-ный интервал приходится на АМАД = 0.15 мкм. Из этого следовало, что носители радионуклидов чернобыльского генезиса имеют, как правило, диспергационное происхождение, в то время как дочерних продуктов радона и торона – конденсационное. Аналогичные данные были получены в 2005 – 2006 гг. (рис. 5).

АМАД, мкм

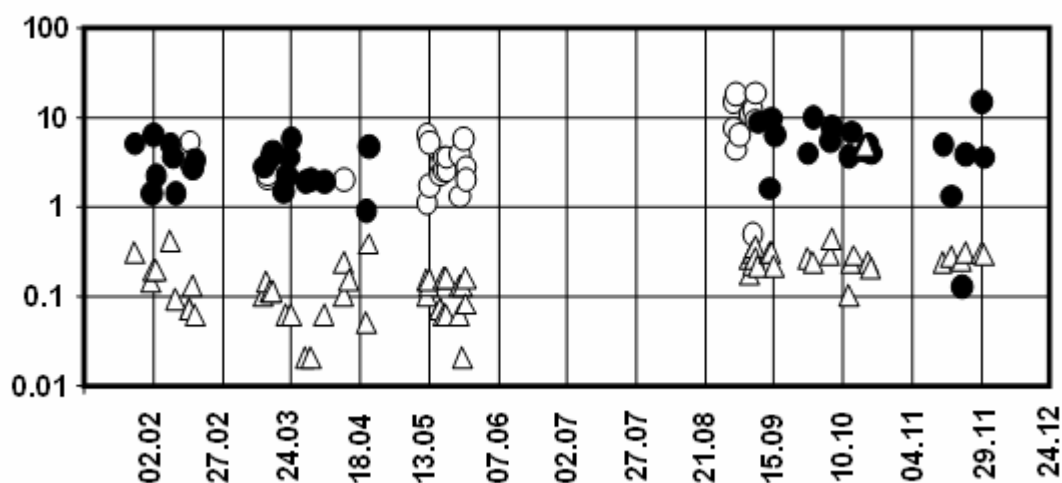


Рис. 5. АМАД аэрозолей-носителей $\Sigma\beta$ -излучающих нуклидов-продуктов чернобыльской аварии (○ - отбор проб в период работы СПП, ● - отбор проб в отсутствии СПП) и дочерних продуктов радона и торона (Δ) в «Байпасе» объекта «Укрытие» в 2005 г.

Для аэрозолей, отличавшихся специфическими условиями генерации в 2006 г. и представленных в таблице, были также рассчитаны значения АМАД и σ . Получено, что 8 и 13 февраля АМАД носителей $\Sigma\beta$ -излучающих нуклидов были соответственно равны 4.2 и 1.7 мкм. Но в пробе, отобранной 14 февраля, размеры радиоактивных аэрозолей-продуктов чернобыльской аварии существенно уменьшились. По

результатам β - и γ -спектрометрии носителями ^{137}Cs в этот день были аэрозоли с АМАД 0.29 мкм при σ около 4 – 5. а носителями ^{90}Sr – аэрозоли в три раза крупнее (АМАД 0.87 мкм при $\sigma = 1.4$). Такое различие в размерах аэрозолей-носителей продуктов чернобыльской аварии имеет вполне объяснимый физико-химический смысл. Дело в том, что 14 февраля субмикронные аэрозоли образовались за счет конденсации сварочных возгонов ^{137}Cs , а аэрозоли микронных размеров – за счет диспергации (разрушения, распыления) радиоактивных веществ, в частности, носителей ^{90}Sr . В этих же пробах одновременно были определены дисперсные характеристики аэрозолей-носителей дочерних продуктов радона и торона. Они имели существенно меньшие размеры: АМАД составлял 0.12 мкм при $\sigma = 4,4$. Это соответствовало результатам, полученным ранее в объекте «Укрытие» и его окрестностях [7].

Таким образом, в результате наблюдений, проведенных в «Байпасе» в феврале 2006 г., установлено, что субмикронные аэрозоли, образующиеся при техногенной деятельности, в частности при сварочных работах, могут распространяться по помещениям объекта «Укрытие», значительно удаленным друг от друга.

В 2004 – 2006 гг. с помощью пакетов трехслойных фильтров Петрянова были отобраны шесть проб аэрозолей на пункте мониторинга ОРУ-750. расположенном в 500 м южнее объекта «Укрытие». Тем самым были продолжены наблюдения, начатые здесь в 1987 г. [8]. Композиции фильтров и линейные скорости прокачки воздуха были аналогичны использованным в «Байпасе» в 2002 – 2006 гг., однако площадь фильтров была существенно больше (0.3 м^2). Непрерывный пробоотбор продолжался 7 – 10 сут. Измерения фильтров проводили в Чернобыле на γ -спектрометрах ГСНПП «Экоцентр».

Установлено, что концентрации ^{137}Cs колебались от 0.1 до 10 мБк/м^3 . т.е. были на три порядка величины ниже, чем в выбросах через «Байпас».

Кроме того, отношение $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$ было иным, чем в «Байпасе». Это показывало, что выбросы из объекта «Укрытие» через высотную вентиляционную трубу ВТ-2 несущественно влияли на аэрозольную обстановку даже в непосредственной близости от ЧАЭС. Расчет показал, что АМАД носителей ^{137}Cs на ОРУ-750 колебался от 3 до 8 мкм. Это совпадало с наблюдениями, выполненными в 1987 – 2000 гг. [7]. Носителями дочерних продуктов радона и торона были, как и в «Байпасе» объекта «Укрытие», аэрозоли с АМАД 0.1 – 0.4 мкм.

Литература

1. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. 1968. М.: Знание.
2. Budyka A.K., Ogorodnikov B.I., Skitivich V.I. Filter pack technique for determination of aerosol particle sizes // J. Aerosol Sci. – 1993. – Vol. 24. – Suppl. 1. – P. S205 – S206.
3. Огородников Б.И., Павлюченко Н.И., Будыка А.К., Краснов В.А. Пылеобразование в объекте «Укрытие» под воздействием техногенных и природных факторов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2005. – Вип. 3. ч. 1. – С. 31 – 44.
4. Хан В.Е., Огородников Б.И., Калиновский А.К. и др. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2005 г. // Там же. – 2006. – Вип. 6. – С. 85 – 94.
5. Огородников Б.И., Будыка А.К., Звеницкий М.И. и др. Необычные аэрозоли в выбросах из объекта «Укрытие» в феврале 2006 г. // Там же. – 2006. – Вип. 6. – С. 82 – 84.
6. Огородников Б.И., Будыка А.К. Мониторинг радиоактивных аэрозолей в объекте «Укрытие» // Атомная энергия. – 2001. – Т. 91. вып. 6. – С. 471 – 475.

7. Огородников Б.И., Сухоручкин А.К., Будыка А.К. и др. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 3. Дисперсность радиоактивных аэрозолей. – Чернобыль, 2004. – 60 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 04-4).

8. Огородников Б.И., Павлюченко Н.И., Пазухин Э.М. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Часть 1. Аэрозольная обстановка на промплощадке ЧАЭС при строительстве объекта «Укрытие». – Чернобыль, 2002. – 47 с. – (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 02-4).

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ФИЛЬТРАЦИИ ВОЗДУХА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С ЯДЕРНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Кириш А.А., Александров П.А., Кириш В.А.

РНЦ «Курчатовский институт»

Ключевые слова: волокнистые фильтры, высокорadioактивные аэрозоли.

Обсуждаются вопросы физики и стратегии очистки воздуха на предприятиях с ядерными технологиями, касающиеся долговременных и аварийных фильтров. Рассмотрены особенности механизма осаждения частиц при сверхмалой скорости течения воздуха в аварийных пассивных фильтрах и подходы к расчету их параметров и параметров фильтров, предназначенных для длительной эксплуатации, рассмотрены особенности осаждения частиц с высокой удельной активностью и причины их аномально высоких проскоков через фильтры на ЧАЭС, сформулированы задачи дальнейших исследований.

1. На основе результатов исследования влияния гравитации [1] и сил Ван-дер-Ваальса с учетом эффекта запаздывания [2] на осаждение частиц из потока при малой скорости течения, характерной для условий эксплуатации пассивных аварийных фильтров, предназначенных для АЭС, предлагается метод расчета среднего диаметра волокон фильтрующего материала и метод расчета общей площади его поверхности для фильтра по заданным значениям начальной эффективности и предельно-допустимого перепада давления, размера и концентрации частиц, расхода воздуха. При вычислении перепада давления в слое осадка на фильтре принимается, что дендритную структуру осадка можно рассматривать как слой волокон. Эквивалентное цепочкам частиц волокно найдено в [3].

Рассмотрено влияние температуры воздуха на улавливание частиц для различных механизмов осаждения и с учетом эффекта скольжения газа. Показано, что с ростом температуры эффективность фильтров и радиус наиболее проникающих частиц возрастают.

2. Разрабатываемый метод оптимизации многоступенчатых систем очистки воздуха и газов применим для расчета многослойных долговременных фильтров. Метод основан на результатах исследования кинетики объемной забивки фильтрующих материалов [4]. Оптимальные параметры долговременного фильтра соответствуют максимальному ресурсу, который определяется началом образования слоя осадка частиц на входе в фильтр.

Необходимость моделирования процесса накопления частиц связана с трудностями прямого экспериментального исследования, поскольку невозможно сократить время накопления, не изменив условий осаждения. Так, при увеличении скорости изменяется механизм осаждения, а при увеличении концентрации частиц сказывается коагуляция, что ведет к изменению пористости осадка на волокнах и, следовательно, к изменению пылеемкости и сопротивления фильтра.

3. Рассмотрено улавливание высокорadioактивных частиц высокоэффективными фильтрами типа ULPA. Выполненные расчеты улавливания таких частиц показывают возможность их проскока даже через суперфильтры. В таблице приводятся некоторые данные измерения radioактивности на отдельных фильтрующих слоях, полученные при отборе проб воздуха на ЧАЭС в 1986 г. Пробы отбирали на опытные стекловолоконистые фильтры типа ФСВ/У, после которых находились сорбционные фильтры типа ЛФС-И-50. При скорости течения воздуха 10 см/с эффективность улавливания фильтрами ФСВ/У нераadioактивных частиц наиболее проникающего размера с диаметром $d = 0.1$ мкм превышает 0.9999. однако, как видно из таблицы, количество

радиоактивности, осевшей на стекловолоконном и на последующих сорбционных фильтрах, соизмеримо. Особенно наглядно это проявлялось вдали от станции, где крупные радиоактивные частицы отсутствовали (проба 4). Почти одинаковый на всех слоях элементный состав указывает на равномерное распределение элементов по частицам. Причины anomalно высоких проскоков частиц через стекловолоконные фильтры требуют объяснения.

4. Проведение специальных экспериментальных исследований фильтрации модельных аэродисперсных систем, в том числе экспериментов с радиоактивными аэрозолями, является основным условием при создании надежных аварийных систем очистки воздуха на АЭС и других предприятиях с ядерными технологиями.

Таблица.

Количество γ -активных радионуклидов (Бк)
на отдельных фильтрующих слоях

Радио- нуклиды	Проба 1				2		3		4	
	ФСВ	ЛФС	ЛФС	ЛФС	ФСВ	ЛФС	ФП	ФСВ	ФСВ	ЛФС
¹⁴⁴ Ce	45.28	7.24	5.53	5.93	66.59	13.57	44.48	7.04	5.62	5.38
¹⁴¹ Ce	20.54	3.19	2.46	2.47	35.11	5.37	22.05	2.82	2.75	2.16
¹³¹ I	1.45	16.41	1.37	0.75	0.13	16.56	0.29	0.22	0.024	0.062
¹⁰³ Ru	16.68	2.86	2.23	2.64	84.3	4.30	23.74	2.93	3.56	2.24
¹⁰⁶ Rh	6.34	0.97	1.65	2.11	25.2	0.91	5.82	1.37	1.25	1.82
¹³⁷ Cs	7.52	1.44	0.43	0.60	18.04	0.99	6.54	0.60	0.728	0.23
⁹⁵ Zr	41.57	7.61	6.44	6.68	162.5	12.03	50.57	6.90	6.47	5.53
⁹⁵ Nb	63.34	13.0	9.16	1.04	247.0	19.0	75.21	10.97	10.50	9.11
¹³⁴ Cs	2.56	0.60	0.07	0.18	6.02	0.19	2.39	0.24	0.288	0.243
¹⁴⁰ La	3.13	0.60	0.32	0.35	8.0	0.75	2.74	0.50	0.60	0.37

Проба 1 (ФСВ/У + 3 слоя ЛФС-И-50) и проба 2 (ФСВ/У + 1 слой ЛФС-И-50) отбирались одновременно 25.06.86. с 16²⁰ до 17⁰⁰. Продолжительность отбора по $t = 40$ мин. Место отбора – БЩУ-3 (блок щитового управления третьего блока ЧАЭС). Объем прокачанного воздуха $Q = 0.74 \text{ м}^3$ площадь фильтра $S = 12.6 \text{ см}^2$. Первая проба отобрана на высоте 2 м, вторая - 0.5 м.

Проба 3 (1 слой ФПП-15 + ФСВ/У), 25.06.86. между 12⁰⁰-17⁰⁰. $t = 222$ мин, коридор, отметка +9.00. первый блок ЧАЭС, $Q = 5.55 \text{ м}^3$ $S = 18.9 \text{ см}^2$.

Проба 4 (ФСВ/У + 1 слой ЛФС-И-50). 23.06.86, г. Чернобыль, около здания Правительственной комиссии. $Q = 1.5 \text{ м}^3$

Литература

1. Кирш В.А. Коллоидный журнал. 2005. Т. 67. № 3. С. 352-356.
2. Кирш В.А. Коллоидный журнал. 2004, Т. 66. № 4. С. 497-503.
3. Кирш В.А. Коллоидный журнал. 2006, Т. 68. № 3. С. 23-25.
4. Кирш В.А. Коллоидный журнал. 1998, Т. 60. № 4. С. 480-484.

ЛЕГКООЗОЛЯЕМЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ФП НА ОСНОВЕ ПОЛИСТИРОЛА И ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА

Капустин И.А., Огородников Б.И., Филатов Ю.Н.,
Мамагулашвили В.Г., Филатов И.Ю.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

Ключевые слова: электроформование микроволокон, фильтрующий материал, термодеструкция, озоляемость, аэрозольные частицы.

Введение

Продолжает оставаться актуальной проблема контроля радиоактивных аэрозолей в атмосфере. Важнейшим элементом технических средств контроля являются фильтрующие материалы, на которые производится отбор аэрозольных частиц. При этом фильтрматериалы, используемые для целей низкоуровневого радионуклидного мониторинга атмосферы и оценки характеристик источников радиоактивных аэрозольных продуктов, должны отвечать ряду требований. Среди них: высокая эффективность отбора частиц в широком диапазоне их размеров, малое удельное сопротивление потоку воздуха, пригодность для пробоподготовки и различных видов анализа.

В настоящее время используются два вида фильтрующих материалов на основе полимерных микроволокон - ФПА-15-2.0 и ФПП-15-1.5. Недостатком данных материалов является то, что они озоляются при температуре выше 500 °С с выделением агрессивных продуктов. Иногда это приводит к неконтролируемым потерям радионуклидов при подготовке зольных препаратов. Поэтому целесообразна разработка фильтрматериала, озоляемого при более низкой температуре, например, ниже 400 °С.

Объекты и методы исследования

В работе в качестве объектов исследования были использованы фильтрующие материалы ФПП-15-1.5 и ФПА-15-2.0 производства Esfil-Techno (Эстония) и разработанные в НИФХИ им. Л.Я. Карпова материалы ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0.

Микроволокнистые материалы, составляющий рабочий слой ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0. были получены методом электроформования [1] из растворов на основе полистирола и полиметилметакрилата соответственно.

Физико-механические характеристики исследуемых фильтрующих материалов были получены на разрывной машине.

Экспериментальная проверка температуры озоления материалов ФП на основе хлорированного поливинилхлорида (ФПП-15-1.5), диацетата целлюлозы (ФПА-15-2.0), полиметилметакрилата (ФПМ-15-2.0) и полистирола (ФПС-15-2.0) проводилась методом дериватографического анализа на оборудовании STA 449C Jupiter.

Для оценки количества неозоляемых примесей, а также потерь основных осколочных радионуклидов при озолении фильтрующих материалов были использованы следующие метод и оборудование. В анализируемые пробы вносили следующие соединения: ВаО, Cs₂SO₄, Со₃О₄, La₂О₃, Pr₆О₁₁, ТеО₂, Eu₂О₃, SrО, WО₃, МоО₃, Sb₂О₃, ZrО₂, Nb₂О₅, СеО₃, СеО₂. Для определения качественного и количественного элементного состава отобранных объектов проводили анализ с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Предварительная подготовка к анализу заключалась в следующем: каждую пробу отдельно помещали в тефлоновые сосуды Веселя фирмы СЕМ и добавляли по 2 мл азотной кислоты HNO₃, 4 мл соляной кислоты HCl и 2 мл плавиковой кислоты HF. Категория чистоты кислот - ОСЧ. Разложение проб проводили с помощью системы микроволнового разложения MDS-2000 (фирмы СЕМ, США, мощность 900 Вт). После охлаждения (60 мин) от

полученных проб отбирали аликвоты объемом 0.25 мл и разбавляли 10 мл деионизованной воды (удельное сопротивление 18 МОм/см³), после чего анализировали на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой модели "Elan DRC 2" фирмы "Perkin Elmer instruments" (Германия).

Для установления зольности проводили следующие операции: от каждого фильтрующего материала отбирали навески массой 10 г, которые помещали в платиновые тигли. Озольнение проводили в муфельной печи без доступа кислорода по температурной программе: при 250 °С изотермическая выдержка составляла 4.5 ч, при 450 °С – 2.5 ч. Полученные зольные остатки переводили в раствор и анализировали по условиям, указанным выше.

На образцы фильтрующего материала массой 10 г носили откалиброванной пипеткой 1 мл раствора смеси анализируемых проб и высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 30 мин. Озольнение, растворение и анализ проводили по условиям, указанным выше.

Эффективность улавливания аэрозолей определяли тремя методами:

- по стандартному масляному туману (СМТ) при скорости фильтрации 1 см/с,
- по атмосферному аэрозолю при скорости фильтрации 1 см/с,
- по радиоактивному атмосферному аэрозолю на ФВУ «Тайфун» и «Snow White» при скоростях фильтрации 100–150 см/с

Измерения коэффициента проскока СМТ выполняли нефелометрическим методом по интенсивности рассеянного света (светорассеянию) на входе и выходе потока, проходящего при определенной постоянной скорости через элементарную пробу материала. Коэффициент проскока выражают в относительных единицах или процентах как отношение концентрации СМТ, измеренное после

элементарной пробы, к концентрации до элементарной пробы. СМТ представляет собой аэрозоль турбинного масла с частицами диаметром 0.28 - 0.34 мкм, которые при скорости фильтрации 1 см/с близки по размеру наиболее проникающим [2]. Блок-схема измерения представлена на рис. 1.

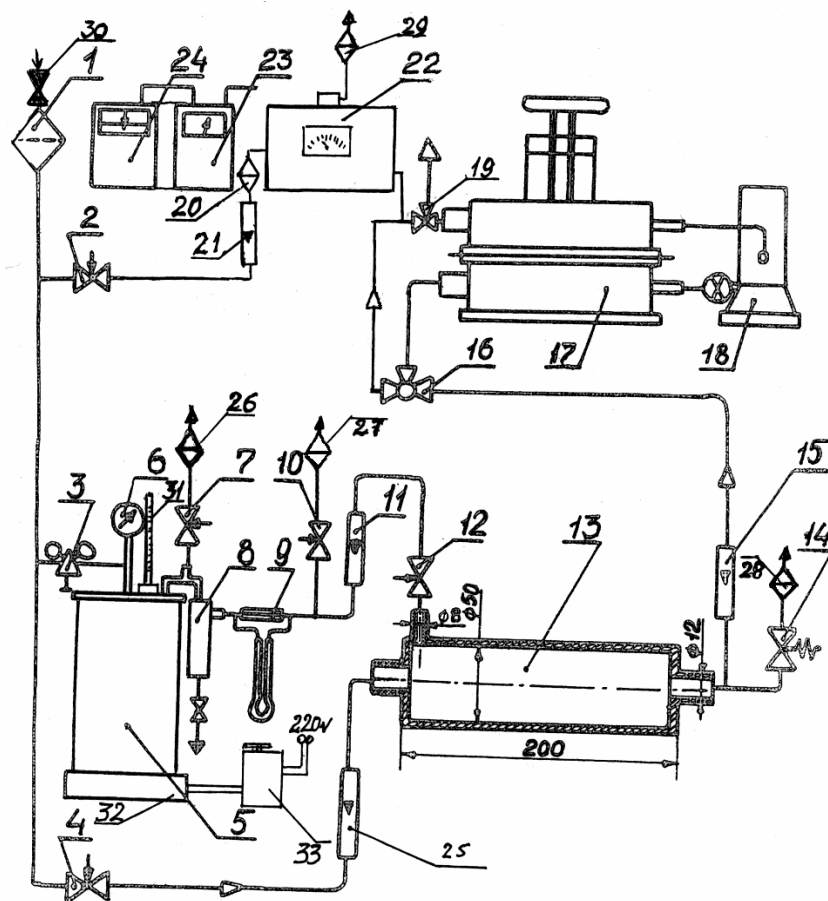


Рис. 1. Блок-схема установки для определения коэффициента проскока по СМТ.
 1 - фильтр очистки воздуха; 2 - вентиль; 3 - редуктор РГБ-1; 4 - вентиль подачи в смеситель; 5 - туманообразователь ТО-52; 6 - манометр; 7 - вентиль сброса;
 8 - фильтр-отделитель; 9 - реометр; 10 - вентиль; 11 - ротаметр подачи тумана в смеситель; 12 - вентиль; 13 - смеситель; 14 - предохранительный клапан или водяной моностаг; 15 - ротаметр; 16 - трехходовой кран; 17 - зажим для фильтрматериала;
 18 - микроманометр МКВ-250; 19 - трехходовой кран нефелометра;
 20 - фильтр очистки воздуха; 21 - ротаметр; 22 - нефелометр; 23 - электронный блок;
 24 - самописец КСП-4; 25 - ротаметр подачи воздуха в смеситель;
 26-29 - воздушные фильтры; 30 - вентиль запорный; 31 - термометр;
 32 - водяная баня; 33 - автотрансформатор.

Определение эффективности по атмосферному аэрозолю проводили при помощи лазерного счетчика ЛАС, измерявшего количество частиц, находящихся в воздушном потоке. Счетчик позволяет разделить частицы размерам от 0.15 до 2 мкм и более по 9 каналам. Коэффициент проскока выражают в относительных единицах или процентах при определенной скорости как отношение концентрации частиц, находящихся в прокачиваемом воздухе после элементарной пробы к концентрации до элементарной пробы.

Определение эффективности фильтрующих материалов в условиях их реальной эксплуатации проводили в конце апреля 2007 г. на фильтровентиляционных установках (ФВУ) «Тайфун» и «Snow White», размещенных на окраине г. Дубна Московской обл. Были произведены параллельные отборы проб. Трудность определения эффективности фильтрующих материалов в данном случае состояла в том, что не были известны исходные концентрации атмосферных аэрозолей. Для решения этой проблемы на ФВУ устанавливали несколько слоев фильтров. Эффективность оценивалась сравнением двух последующих слоев по количеству уловленных аэрозолей ^{7}Be . Диаметр частиц-носителей ^{7}Be равен примерно 0.2 – 0.3 мкм [3]. После окончания пробоотбора волокна снимали с подложки и спрессовывали в виде шайбы диаметром около 50 мм и высотой до 12 – 13 мм. Измерения отобранных проб производили на полупроводниковой гамма-спектрометрической установке GWL-120230 в геометрии «брикет на торце».

Результаты и обсуждение

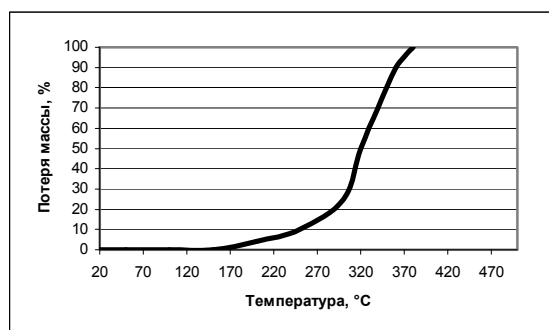
Исследования процесса электроформования волокнистых материалов из прядильных растворов полиметилметакрилата и полистирола в этилацетате или дихлорэтаноле были проведены на лабораторной и пилотной установках. Установлена возможность получения волокон в широком

диапазоне диаметров от 0.4 до 10 мкм. Найдены оптимальные технологические режимы получения волокнистых материалов со средним диаметром 1.5 мкм [4]. Выбранный диаметр волокна определяется требованием к штатным фильтрующим элементам, используемым в установках типа «Тайфун» и «Snow White».

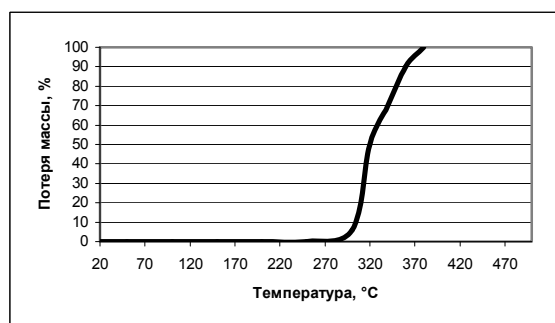
На пилотной установке НИФХИ им. Л.Я. Карпова были выпущены опытные партии фильтрующих материалов ФПС-15-2.0 из полистирола и ФПМ-15-2.0 из полиметилметакрилата.

Была проведена экспериментальная проверка температуры озоления материалов ФП на основе хлорированного поливинилхлорида, диацетата целлюлозы, полиметилметакрилата и полистирола. Результаты представлены на рис. 2. Установлены зависимости потери массы волокнистого материала от температуры при скорости нагрева 10 °С в минуту.

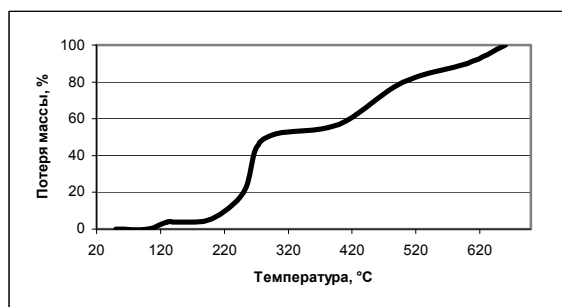
А. Полиметилметакрилат



Б. Полистирол



В. Хлорированный ПВХ



Г. Диацетат целлюлозы

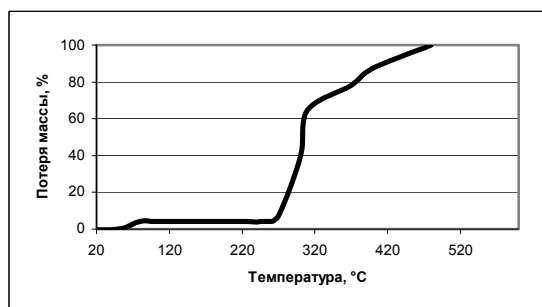


Рис. 2. Зависимости потери массы от температуры.

Проведенный эксперимент показал, что волокнистые материалы из полиметилметакрилата и полистирола озоляются при температурах до 400 °С, причем деструкция данных образцов проходит в одну ярко выраженную стадию. Озольнение фильтрующих материалов на основе хлорированного поливинилхлорида и диацетата целлюлозы протекает по-другому. Озольнение начинается при более низких температурах, но процесс протекает в несколько стадий и полная потеря массы наблюдается при температурах выше 500 °С.

Были исследованы физико-механические свойства ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0 в сравнении с ФПА-15-2.0 и ФПП-15-1.5. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Физико-механические свойства фильтрматериалов.

Марка материала	Относительное удлинение при разрыве, %	Разрывная длина, м
ФПС-15-2.0	5	120
ФПМ-15-2.0	29	120
ФПА-15-2.0	31	350
ФПП-15-1.5	28	280

Как видно из табл. 1. материалы ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0 по разрывной длине заметно уступают ФПА-15-2.0 и ФПП-15-1.5 вследствие хрупкости исходных полимеров. Однако этот недостаток устраняется использованием марлевой или нетканой подложки. Кроме того, на ФВУ используется армирующая сетка, которая также нивелирует низкие механические свойства материалов ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0.

Таблица 2.

Коэффициент проскока СМТ при скорости 1 см/с

Марка материала	ФПС-15-2.0	ФПМ-15-2.0	ФПП-15-1.5	ФПА-15-2.0
Коэффициент проскока, %	0.003	0.005	0.005	0.048

Из табл. 2 следует, что волокнистые материалы ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0 имеют высокие значения эффективности при стандартных условиях измерения, так как при небольших скоростях воздушного потока существенную роль играет электростатический заряд фильтрующего материала. Поскольку ФПА-15-2.0 заряжен меньше, чем остальные исследуемые образцы из-за гидрофильности волокон, то его эффективность на порядок ниже.

Таблица 3.

Коэффициент проскока (%) при улавливании атмосферных аэрозолей фильтрующими материалами

Канал ЛАС	ФПС-15-2.0	ФПМ-15-2.0	ФПП-15-1.5	ФПА-15-2.0
1 (0.15-0.2 мкм)	0.005	0.009	0.025	0.328
2 (0.2-0.3 мкм)	0.009	0.016	0.014	0.356
3 (0.3-0.4 мкм)	0.007	0.007	0.026	0.387
4 (0.4-0.5 мкм)	0.009	0.019	0.004	0.358
5 (0.5-0.6 мкм)	-	-	-	0.238
6 (0.6-0.8 мкм)	-	-	-	0.172
7 (0.8-1.0 мкм)	-	-	-	0.186
8 (1.0-2.0 мкм)	-	-	-	0.114
9 (больше 2 мкм)	-	-	-	-

Высокая эффективность волокнистых материалов ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0 была подтверждена при фильтрации атмосферных аэрозолей и определении коэффициентов проскока с помощью лазерного счетчика по девяти размерным фракциям. Как следует из табл. 3, проскок частиц с диаметрами от 0.15 до 0.5 мкм при скорости фильтрации 1 см/с не превышал 0.02 %. Примерно такие же характеристики имел материал ФПП-15-1.5. В данных условиях улавливание аэрозолей происходило преимущественно за счет электростатического заряда материалов. Это

однозначно следует из данных, представленных в табл. 3 для материала ФПА-15-2.0. электростатический заряд которого существенно ниже, чем у трех других. Тем самым подтвердились результаты, полученные по СМТ (см. табл. 2).

Рабочие скорости воздуха при эксплуатации разрабатываемых фильтрующих материалов составляют около 1 м/с. При таких скоростях роль электростатического заряда фильтрматериала практически сводится к нулю, и работает в основном инерционный механизм захвата частиц. Поэтому было бы некорректно ограничиться измерением эффективности при стандартных условиях. С этой целью была проведена экспериментальная проверка эффективности использования фильтрматериалов при улавливании радиоактивных аэрозолей в условиях их будущей эксплуатации. Трудность определения эффективности в данном случае состояла в том, что не были известны исходные концентрации атмосферных аэрозолей. Для решения этой проблемы на ФВУ устанавливали послойно несколько фильтров. Этот метод был разработан в НИФХИ им. Л.Я. Карпова [5]. Зная содержание ${}^7\text{Be}$, уловленного в каждом слое пробы, можно оценить эффективность фильтров. Площадь фильтродержателя в ФВУ «Тайфун» составляла около 1 м^2 и в «Snow White» - около 0.4 м^2 . Линейные скорости фильтрации в обеих установках были одинаковые и близкие к 0.6 м/с . Прокачку воздуха 24, 26 и 28 апреля 2007 г. проводили одновременно на установках «Тайфун» в «Snow White» в течение 24 ч. При этом в «Snow White» отфильтровывали около 20 тыс м^3 воздуха, а в «Тайфуне» примерно в 2.5 раз больше. Измерения проб на гамма-спектрометре показали, что объемные активности ${}^7\text{Be}$ за период с 23 по 29 апреля находились в диапазоне $0.05 - 0.25 \text{ Бк/м}^3$.

Расчет эффективности улавливания аэрозолей сводился к тому, что количество ${}^7\text{Be}$ в первом и втором слоях фильтрующего материала

принимали за 100 %. Тогда проскок через первый слой был равен доле аэрозолей, обнаруженной на втором слое. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Эффективность (%) материалов при фильтрации аэрозоль-носителей ^{7}Be из атмосферы в условиях эксплуатации в апреле 2007 г.

Дата, апрель 2007 г.	ФВУ	Материал	Объем пробы, тыс м ³	Содержание ^{7}Be , (Бк/проба)		Доля (%) ^{7}Be в слое 1
				слой 1	слой 2	
23	Тайфун	ФПМ-15-2.0	-	1.88	0.12	94.0
24	Тайфун	ФПС-15-2.0	-	3.02	0.08	97.4
24	Snow White	ФПС-15-2.0	20.8	1.15	0.02	98.1
25	Тайфун	ФПМ-15-2.0	-	4.36	0.26	94.4
26	Тайфун	ФПС-15-2.0	-	3.35	0.08	97.5
26	Snow White	ФПМ-15-2.0	20.6	1.16	0.47	96.1
27	Тайфун	ФПА-15-2.0	-	5.03	0.27	94.9
28	Тайфун	ФПП-15-1.5	-	3.15	1.11	73.8
28	Snow White	ФПП-15-1.5	21.0	0.99	0.09-	91.2

Наилучшая эффективность оказалась у ФПС-15-2.0. Проскок через него аэрозолей-носителей ^{7}Be составлял около 2 – 2.5 %. Материалы ФПМ-15-2.0 и ФПА-15-2.0 имели величины проскока 5 – 6 %, т.е. практически одинаковые показатели. Фильтрматериал ФПП-15-1.5 имел более низкие значения эффективности. При экспонировании его на установке «Snow White» проскок составил около 9 %. Это несколько выше, чем для трех других материалов, однако вполне закономерно, поскольку его стандартное сопротивление 1.5 мм вод. ст. на четверть меньше, чем у материалов ФПС, ФПМ и ФПА, имеющих стандартное сопротивление 2.0 мм вод. ст. Низкая эффективность, полученная при экспонировании материала ФПП-15-1.5 на установке «Тайфун», вероятнее всего связана с ошибкой гамма-спектрометрии. Однако не исключено, что сказалась нестабильность качества выпускаемых в промышленности материалов.

Следующим этапом исследований было определение наличия и состава неозоляемых примесей в опытных образцах. Режимы озоления изложены выше. Зольность фильтрующих материалов представлена в табл. 5.

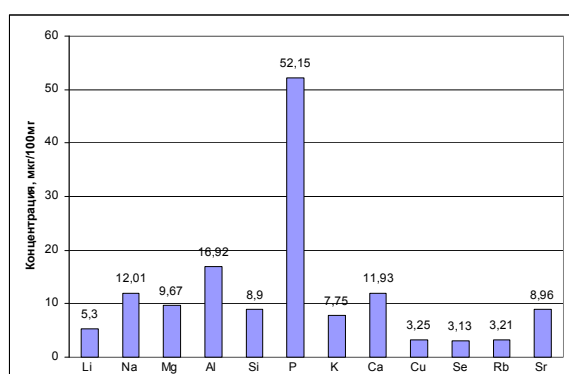
Таблица 5.

Зольность исследуемых фильтрующих материалов

Фильтрматериал	Зольность, %
ФПМ-15-2.0	1.2
ФПС-15-2.0	0.1

Пониженная зольность фильтрующего материала ФПС-15-2.0 по сравнению с ФПМ-15-2.0 обусловлена чистотой исходного полимера. Качественный и количественный состав зольных остатков представлен на рис. 3.

А. ФПС-15-2.0



Б. ФПМ-15-2.0

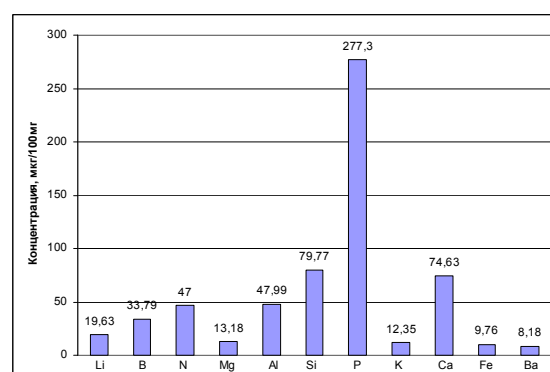


Рис. 3. Состав неозоляемых примесей.

Для определения потерь при озолении основных осколочных радионуклидов был применен тот же метод, что и для определения наличия и состава неозоляемых примесей. Кроме того, количество неозоляемых примесей явилось нулевой точкой этого эксперимента.

Предварительно из каждой представленной пробы были отобраны навески массой по 100 мг. Был проведен их качественный и количественный элементный анализ.

После завершения количественного анализа исходных составляющих отбирали по 100 мг от каждого объекта и готовили их смесь. Количественный элементный состав смеси показан на рис. 4.

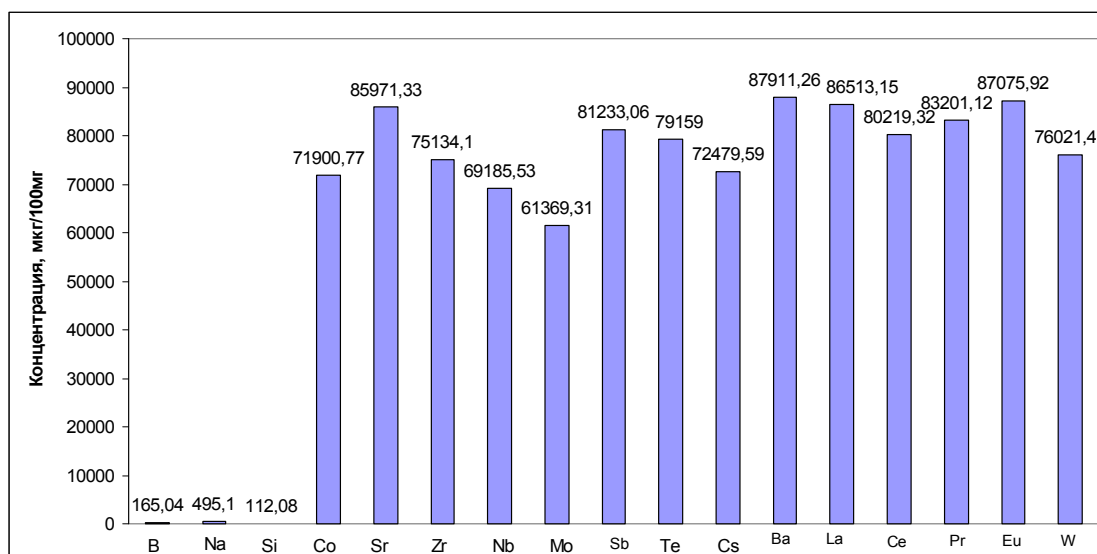


Рис. 4. Количественный элементный состав исследуемой смеси.

Затем на фильтрматериал массой 10 г наносили пипеткой 1 мл раствора смеси и высушивали в сушильном шкафу. После этого проводили озонирование и элементный анализ исследуемых фильтров. Результаты анализа представлены на рис. 5. Для наглядности показан исходный состав смеси исследуемых соединений редкоземельных элементов (первый столбец) и после озонирования (второй столбец).

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что при данных условиях эксперимента потерь при озонировании основных осколочных радионуклидов не должно наблюдаться. Все колебания концентраций исследуемых элементов находятся в пределах статистической ошибки используемого метода. Ошибкой метода

объясняется и более высокая в некоторых случаях концентрация по сравнению с исходной.

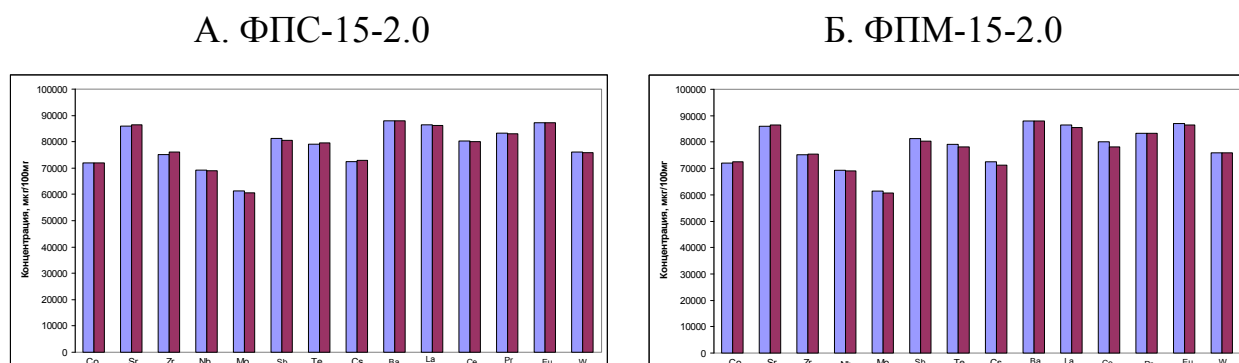


Рис. 5. Состав неозоляемых примесей.

Заключение

Разработанные фильтрующие материалы на основе очищенных от примесей полистирола и полиметилметакрилата обладают температурой озоления менее 400 °С, не выделяют агрессивных продуктов распада и имеют высокие показатели эффективности. При фильтрации атмосферного воздуха эффективность улавливания ими радиоактивных аэрозоль-носителей ^{7}Be при скорости потока 0.6 м/с составляет 95 % и более.

По результатам проделанной работы подана заявка на патент РФ [6].

Фильтрующие материалы ФПС-15-2.0 и ФПМ-15-2.0 предложены Министерству обороны РФ для постановки на вооружение.

Литература

1. Filatov Yu., Budyka A., Kirichenko V. Electrospinning of micro- and nanofibers. - Begell House, Inc. Publishers, 2007.
2. Басманов П.И., Кириченко В.Н., Филатов Ю.Н., Юров Ю.Л. Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. – М.: Наука, 2003. – 271 с.

3. Огородников Б.И., Скитович В.И., Будыка А.К. Дисперсный состав искусственных и естественных радиоактивных аэрозолей в 30-км зоне ЧАЭС в 1986 – 1996 гг. // Радиационная биология. Радиоэкология. 1998. – Т. 38, № 6. – С. 889.
4. Петрянов И.В., Козлов В.И., Басманов П.И., Огородников Б.И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. - М.: Знание. 1968.
5. Огородников Б.И. Физико-химические основы аэрозольного метода. Дисс. докт. Хим. наук. НИФХИ им. Л.Я. Карпова. – М.: 1986.
6. Заявка на патент РФ № 2007139574. Фильтрующий материал и способ его получения / Капустин И.А., Филатов И.Ю., Филатов Ю.Н., Архипов С.Ю., Огородников Б.И., Будыка А.К., 2007.

ИЗУЧЕНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ РАДИОАЭРОЗОЛЕЙ CsI ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ РАЗЛИЧНЫМИ ФИЛЬТРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Кулемин В.В., Кулюхин С.А., Михеев Н.Б., Мелихов И.В., Румер И.А., Богачев Е.Н.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН

Ключевые слова: радиоаэрозоли, иодид цезия, локализация, фильтры

Введение

Из термохимического анализа облученного ядерного топлива (ОЯТ) известно, что доминирующей формой радиоактивного йода (радиоид) в нем является CsI [1-3], который образуется в топливе при взаимодействии элементарных йода и цезия. При длительной кампании облучения топлива в реакторе CsI концентрируется в зазоре между ОЯТ и оболочкой ТВЭЛа в результате диффузии элементарных йода и цезия по дислокациям зерен ОЯТ [1]. При аварийном повреждении ТВЭЛа или в процессе переработки ОЯТ CsI в виде радиоаэрозолей попадает в газовую фазу [4-6]. Ранее нами было установлено, что при испарении CsI с Pt поверхности в атмосферу Ar происходит образование аэрозолей с широким диапазоном размеров частиц (от 5-10 нм до сотен мкм) [7]. Было показано, что в этих условиях изменение структуры соединения не происходит [8]. В то же время присутствие в газовой фазе O₂ и паров H₂O может привести к заметной конверсии CsI. Так в работе [9] установлено, что при сублимации ¹³⁷Cs¹³¹I с Pt нагревателя (здесь и далее имеются в виду соединения, меченные соответствующими радионуклидами, а не производные ¹³⁷Cs и ¹³¹I без носителя) в определенных условиях возможно образование соединений ¹³⁷CsOH, ¹³⁷Cs¹³¹I - ¹³⁷CsOH, ¹³⁷Cs¹³¹I₃ и ¹³¹I₂.

Проблема предотвращения попадания радиоаэрозолей в окружающую

среду - одна из актуальных задач экологии. В связи с тем, что образующиеся радиоаэрозоли являются крайне неоднородными по своему размеру, для предотвращения проникновения их в окружающую среду разработаны защитные системы различного типа [10-12]. В большинстве из них локализацию радиоактивных аэрозолей проводят либо путем барботирования воздушного потока через водные растворы различных веществ [10. 13-15], либо фильтрованием газовой фазы через всевозможные фильтрующие материалы [10. 16 - 18]. Ранее нами при изучении влияния УФ излучения на поведение радиоаэрозолей CsI было показано, что часть из них проходила через барботеры с водными растворами и комбинированный фильтр, состоящий из фильтра Петрянова и бумажного фильтра "белая лента" [19]. Это было несколько неожиданным, поскольку CsI и возможные продукты его окислительного гидролиза - $^{137}\text{CsOH}$, $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I} - ^{137}\text{CsOH}$, $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}_3$ являются гидрофильными, хорошо растворимыми в H_2O и должны были бы практически полностью поглощаться в водных ловушках. Исходя из полученных результатов, было сделано предположение, что аэрозольные частицы CsI нанометрового размера, образующиеся при сублимации CsI с Pt нагревателя, обладают не только гидрофобностью и практически не захватываются H_2O , но и способны проникать через фильтр Петрянова и бумажный фильтр "белая лента".

В связи с этим цель данной работы заключалась в изучении дисперсного состава радиоаэрозолей $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ и продуктов их окислительного гидролиза, проникающих через применяемые в работе водные растворы и фильтрующие материалы.

Экспериментальная часть

В работе использованы радионуклиды ^{137}Cs и ^{131}I без носителей, поставляемые ОАО "Изотоп" в виде растворов $^{137}\text{CsNO}_3$ и Na^{131}I . Меченые

препараты CsI готовили путем смешивания указанных растворов радионуклидов с раствором CsI (концентрация 20 мг/мл) и последующей кристаллизацией $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ (удельная активность по каждому из нуклидов - $\sim 10^2\text{-}10^3$ Бк/мг). Измерение радиоактивности нуклидов осуществляли методом гамма-спектрометрии с помощью Ge-Li детектора на многоканальном анализаторе. Иодид цезия, используемый в работе, был марки "х.ч."

Для исследования эффективности локализации аэрозолей $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ из газовой среды различными фильтрующими материалами, включая водные растворы, использовали установку, схема которой приведена на рис. 1.

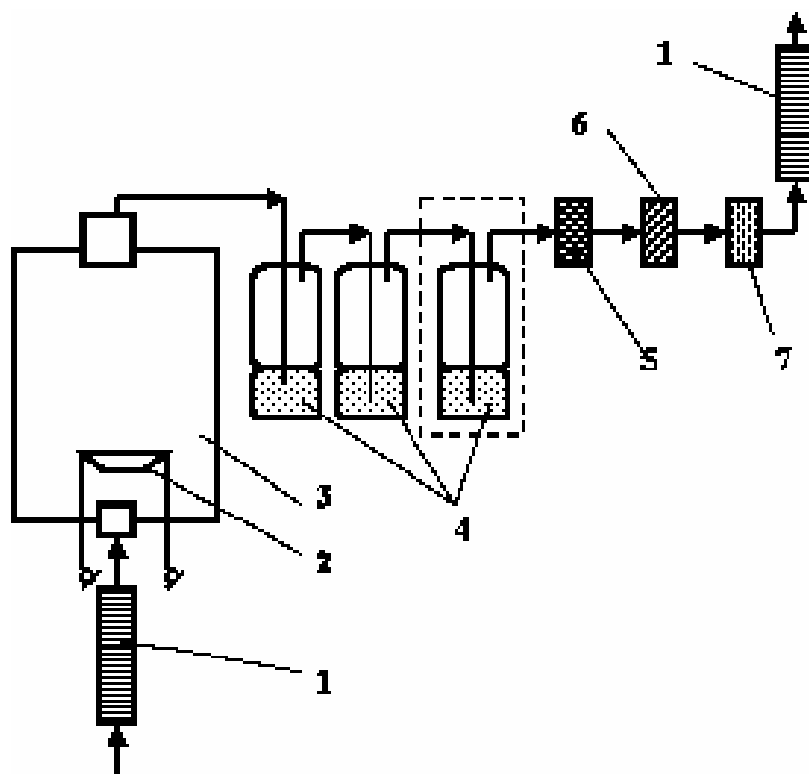


Рис. 1. Схема установки для изучения локализации аэрозолей $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ из газовой фазы. (1 - ротаметры, 2 - Pt нагреватель; 3 - реакционная камера из нержавеющей стали ($V = 450 \text{ см}^3$); 4 - барботеры с 0.1 г-экв/л раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; 5 - фильтр Петрянова толщиной 0.3 см; 6 - бумажный фильтр "белая лента"; 7 - металлический мембранный фильтр "TRUMEM" с размером пор 2 мкм)

Установка состояла из реакционной камеры объемом 450 см^3 изготовленной из нержавеющей стали, и системы локализации

радиоаэрозолей, неосевших в реакционной камере. Нижняя часть камеры закрывалась крышкой из нержавеющей стали, через которую проходили тоководы нагревателя, представляющего собой лодочку, изготовленную из Pt фольги толщиной 0.1 мм, размерами 6×36 мм. Кроме того, реакционная камера была снабжена патрубками для ввода и вывода газовой смеси. Основными элементами системы локализации радиоаэрозолей, неосевших в реакционной камере, были барботеры и фильтры. В работе использовали два или три барботера с 0.1 М водным раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Диаметр сопла барботеров составлял 0.8-1.0 и 1.5-2.0 мм. В установке использовали три последовательно соединенных фильтра. Первым из них был фильтр Петрянова толщиной 0.3 см, вторым - бумажный фильтр "белая лента" и третьим - мембранный металлический фильтр "TRUMEM" с диаметром пор 2 мкм. На входе и выходе установки находились ротаметры. Для создания тока газа к установке подсоединялись либо баллон с Ar марки "о.с.ч.", либо компрессор.

Эксперимент проводили следующим образом. Раствор, содержащий 0.3 или 3.0 мг CsI и радионуклиды ^{137}Cs и ^{131}I , упаривали досуха при температуре 323-343 К на Pt нагревателе. После этого нагреватель помещали в реакционную камеру. Камеру герметизировали, присоединяли к ней систему локализации радиоаэрозолей, содержащей в зависимости от задач экспериментов два или три барботера. Начинали продув Ar (или воздуха) через систему с определенной скоростью и через 10 мин проводили возгонку $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, для чего температуру Pt нагревателя повышали до 1470-1570 К (температура кипения CsI - 1553 К). Процесс испарения продолжался 30 с. По окончании возгонки $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ продув реакционной камеры продолжали в течение 30 мин. Затем проводили демонтаж установки, и все внутренние части установки обмывали водой. В каждой полученной фракции определяли методом гамма-спектрометрии содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I . На основании полученных данных

рассчитывалось массовое отношение Cs/I, которое для кристаллического CsI составляет величину, равную 1.04. При этом отклонение от теоретической величины в сторону увеличения указывало на обогащение фракции Cs, а в сторону уменьшения - на увеличение в данной фракции количества I. Таким образом, изменение массового отношения Cs/I могло служить характеристикой степени протекания окислительного гидролиза в исследуемой системе.

При изучении эффективности 10-слойного пакета фильтров Петрянова общей толщиной 3.0 см в процессе локализации аэрозолей $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, полученных в результате сублимирования $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ с Pt нагревателя, использовали установку, схема которой приведена на рис. 2.

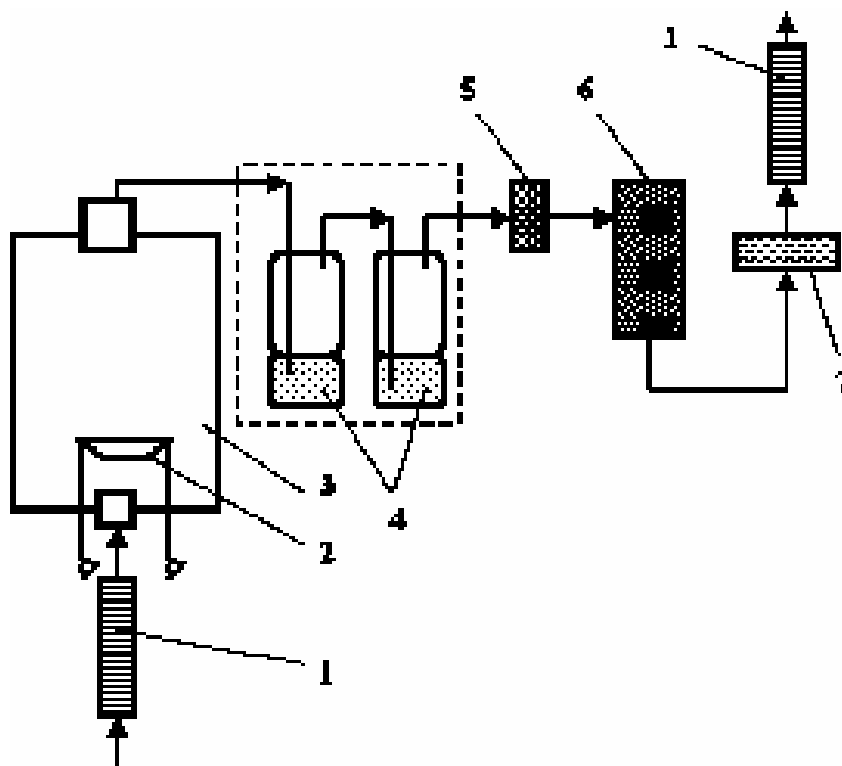


Рис. 2. Схема установки для определения эффективности локализации аэрозолей $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ 10-слойным пакетом фильтров Петрянова из газовой фазы:

(1 - ротаметры, 2 - Pt нагреватель; 3 - реакционная камера из нержавеющей стали ($V = 450 \text{ см}^3$); 4 - барботеры с 0.1 г-экв/л раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; 5 - 10-слойный пакет фильтров Петрянова толщиной 3.0 см; 6 - колонка с сорбентом; 7 - металлический мембранный фильтр "TRUMEM" с размером пор 2 мкм).

Система локализации проскока состояла из колонки с сорбентом и металлического мембранного фильтра "TRUMEM". Сорбент на основе силикагеля, импрегнированного AgNO_3 (30 мг/г), предназначался для улавливания $^{131}\text{I}_2$, который мог образоваться в системе в результате окислительного гидролиза $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$. Методика проведения экспериментов была аналогична описанной выше, при этом ряд экспериментов был проведен без системы барботирования.

Дисперсный состав аэрозолей CsI , проникающих через применяемые фильтрующие материалы, включая водные растворы, был исследован на неактивных материалах с помощью метода просвечивающей электронной микроскопии. С этой целью в установке, схема которой приведена на рис.1. были установлены стеклянные пластины-коллекторы после каждого барботера, а также после фильтра Петрянова толщиной 0.3 см и бумажного фильтра "белая лента". Для этого были смонтированы держатели из нержавеющей стали, предназначенные для установки стеклянных пластин-коллекторов аэрозолей. Пластины-коллекторы имели размер 24x24 мм. В зазор каждого держателя вставляли одновременно две плотно прилегающих друг к другу пластины, которые предварительно тщательно промывали спиртом и высушивали.

Эксперимент проводили по методике, описанной выше, только без использования радиоактивных нуклидов. По окончании эксперимента пластины-коллекторы аэрозолей вынимали из специальных держателей и помещали в эксикатор. Перед работой на электронном микроскопе EM-301 фирмы "Philips" стеклянные пластины-коллекторы с аэрозолями CsI обрабатывали по методике платино-углеродных реплик [20].

Поскольку при разогреве Pt нагревателя до 1570 К в газовую фазу могли попадать аэрозольные частицы нагревателя и тем самым искажать результаты экспериментов по изучению дисперсного состава аэрозолей CsI , предварительно были проведены холостые эксперименты без возгонки

CsI. Оказалось, что при нагреве Pt нагревателя до 1570 ± 50 К в течение 20-30 с количество частиц, локализованных на стеклянных пластинах-коллекторах незначительно и не превышает 100 част./см^2 .

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены данные по распределению радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I из тока Ar и воздуха в различных частях установки, схема которой приведена на рис. 1. Из табл. 1 видно, что при испарении $0.3 \text{ мг } ^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ в поток аргона от 50 до 65 % ^{137}Cs и ^{131}I локализируются в водной фазе в зависимости от размера сопла в барботерах, от 30 до 42 % задерживаются на фильтре Петрянова и от 2 до 5 % концентрируются на бумажном фильтре "белая лента", расположенном за фильтром Петрянова. (эксп. 1 и 2). При возгонке $3.0 \text{ мг } ^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ количество ^{137}Cs и ^{131}I , локализованных в барботерах, увеличивается приблизительно на 10 %. При этом их содержание несколько снижается на фильтре Петрянова и практически не изменяется на бумажном фильтре "белая лента" (эксп. 3 и 4). Полученные данные подтверждают факт, что при сублимации $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ с Pt нагревателя образуются частицы нанометрового размера, которые не только не поглощаются водными растворами барботеров, но и способны проникать через фильтр Петрянова.

При уменьшении размера сопла в системе барботирования и связанного с этим уменьшении размера пузырьков газа степень локализации радиоаэрозолей в водном растворе увеличивается приблизительно на 5-10 % при прочих равных экспериментальных условиях (эксп. 1 и 2). При этом независимо от количества возогнанного $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, массовое отношение Cs/I в барботерах и на фильтрах близко к 1.0, что указывает на слабую степень окислительного гидролиза CsI в Ar.

Таблица 1.

Распределение радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I (%) в различных частях установки (эксп. 1-8 - рис.1. вариант с двумя барботерами; эксп. 9-12 - рис.1. вариант с тремя барботерами) при сублимации ^{137}Cs ^{131}I в газовый поток при 298 К

№ Эксперимента	Среда	V, л/мин	m _{CsI} , мг	Ø, мм	Барботеры			Фильтры									
								на основе ткани Петрянова			бумажный "белая лента"			мембранный "TRUMEM"			
					^{137}Cs	^{131}I	Cs/I	^{137}Cs	^{131}I	Cs/I	^{137}Cs	^{131}I	Cs/I	^{137}Cs	^{131}I	Cs/I	^{137}Cs
1.	Аргон	0.5	0.3	1.5 - 2.0	54,2	55.6	0.97	43.2	42.0	1.03	2.6	2.4	1.08	~0.01	~0.01	1.00	
2.				0.8 - 1.0	64,0	65.8	0.97	31.2	30.5	1.02	4,8	3.7	1.30	~0.01	~0	-	
3.				3.0	1.5 - 2.0	67,7	66,1	1.02	26,8	28,6	0.94	5.5	5.3	1.04	~0.01	~0.01	1.00
4.					0.8 - 1.0	72.6	69,8	1.04	24,9	27,8	0.90	2.5	2.4	1.04	~0	~0	-
5.	Воздух	0.5	0.3	1.5 - 2.0	70.7	74,5	0.95	29,2	25.4	1.15	0.1	0.1	1.00	~0.01	~0	-	
6.				0.8 - 1.0	78,1	80.2	0.97	21.1	19,1	1.10	0.8	0.7	1.14	~0	~0	-	
7.				3.0	1.5 - 2.0	71.9	68,9	1.04	28,0	31.0	0.90	0.1	0.1	1.00	~0.01	~0	-
8.					0.8 - 1.0	73.9	70.1	1.05	23.0	27,1	0.85	3.1	2.8	1.11	~0	~0	-
9.	Воздух	0.8	0.3	0.8 - 1.0	93.8	94,3	0.99	5.9	5.5	1.07	0.3	0.2	1.50	~0.01	~0.01	1.00	
10.		0.5			72.0	75.3	0.96	26,5	23.4	1.13	1.5	1.3	1.15	~0	~0.01	-	
11.		0.8			87,9	88,2	1.00	10.4	9,9	1.05	1.7	1.9	0.89	~0.01	~0.01	1.00	
12.		0.5			3.0	82.6	80.6	1.02	15.7	17,4	0.90	1.7	2.0	0.85	~0	~0.01	-

Примечание: V - скорость газового потока; m_{CsI} - количество сублимированного CsI; Ø - диаметр сопла в барботерах.

В среде воздуха в аналогичных условиях количество ^{137}Cs и ^{131}I в барботерах возрастает до ~70-80 %, при этом массовое отношение Cs/I становится меньше 1.0 (эксп. 1 и 5). На величину локализации радионуклидов заметно влияет количество $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, сублимированного с Pt нагревателя. Так, в случае возгонки 0.3 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ степень локализации ^{137}Cs и ^{131}I увеличилась более чем на 10 % (эксп. 1, 2, 5 и 6). В то же время при сублимации 3.0 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ количество радионуклидов в барботерах практически не менялось (эксп. 3, 4, 7 и 8). Увеличение содержания радионуклидов в барботерах, и особенно в случае возгонки 0.3 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, связано с протеканием в системе окислительного гидролиза аэрозолей $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ и образованием крупнодисперсных, гидрофильных аэрозолей $^{137}\text{CsOH}$ и, по-видимому, $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I} - ^{137}\text{CsOH}$ [9]. Уменьшение отношения Cs/I по сравнению с теоретической величиной связано с образованием $^{131}\text{I}_2$ способного поглощаться в водной фазе барботеров. Количество радионуклидов, локализованных на фильтре Петрянова, практически не изменилось в случае сублимации 3.0 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ (эксп. 7 и 8) и заметно уменьшилось при возгонке 0.3 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ (эксп. 5 и 6). В результате образования крупнодисперсных радиоаэрозолей, заметно снизилось количество радионуклидов на бумажном фильтре "белая лента".

Следует отметить, что как в Ag, так и в воздухе практически не обнаружено радионуклидов на металлическом мембранном фильтре "TRUMEM", т.е. система локализации, состоящая из двух барботеров с водными растворами, фильтра Петрянова и бумажного фильтра "белая лента", позволяет достаточно надежно локализовать аэрозоли $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$.

Представляло интерес выяснить, возможно ли повысить эффективность системы барботирования путем увеличения числа барботеров и тем самым понизить нагрузку на фильтр Петрянова и бумажный фильтр "белая лента". С этой целью в систему локализации установки (см. рис. 1), был введен еще один барботер. В результате

исследований установлено, что при прочих равных условиях введение дополнительного барботера практически не сказывается на степени локализации радионуклидов в случае сублимации 0.3 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ (эксп. 6 и 10). В то же время практически на 10 % увеличивается содержание радионуклидов в барботерах в случае сублимации 3.0 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ (эксп. 8 и 12) и степень локализации ^{137}Cs и ^{131}I составляет 80-90 %.

Следует отметить, что на величину локализации радионуклидов заметное влияние оказывает скорость газового потока. Чем выше скорость газа, тем выше эффективность системы барботирования. Так, увеличение скорости газового потока с 0.5 до 0.8 л/мин приводит к возрастанию степени локализации радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I в барботерах практически до 90-95 % (эксп. 9). Наблюдаемый эффект связан с тем, что при увеличении скорости газового потока увеличивается степень разрушения пузырей газа на выходе из сопла барботеров и тем самым повышается степень взаимодействия водного раствора с газовым потоком. Именно с целью обеспечения максимального контакта газового потока с водным раствором в большинстве современных устройств барботирования используются сопла Вентури, которые за счет своего специального строения позволяют достичь максимального разрушения газовых пузырьков [10, 13-15].

Несмотря на увеличение степени локализации радионуклидов в барботерах и уменьшения их количества на фильтре Петрянова, во всех экспериментах радионуклиды присутствуют на бумажном фильтре "белая лента", расположенным за фильтром Петрянова.

В табл. 2 приведено распределение радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I по длине 10-слойного пакета фильтров Петрянова в отсутствие и в присутствии системы барботирования, состоящей из двух барботеров с размером сопла 0.8-1.0 мм.

Таблица 2.

Распределение радионуклидов ^{137}Cs и ^{131}I (%) в различных частях установки (см. рис. 2) при сублимации $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ в поток воздуха ($v = 2.0$ см/с; $d_{\text{фильтра}} = 23.5$ мм; $T = 298$ К; $m_{\text{CsI}} = 3.0$ мг)

Часть установки	Без системы барботеров		С системой барботеров	
	^{137}Cs	^{131}I	^{137}Cs	^{131}I
Барботеры				
Первый	-	-	36,2	39,7
Второй	-	-	32,1	34,6
10-слойный пакет фильтров Петрянова				
Слой № 1	95.0	94.1	20.6	20.9
Слой № 2	2.3	3.7	2.0	3.0
Слой № 3	0.5	0.5	1.2	1.0
Слой № 4	0.4	0.3	1.0	0.4
Слой № 5	0.3	0.2	0.9	0.1
Слой № 6	0.3	0.2	0.8	0.1
Слой № 7	0.2	0.1	0.8	0.05
Слой № 8	0.2	0.1	0.8	0.05
Слой № 9	0.1	~0	0.7	~0.01
Слой № 10	0.1	~0	0.7	~0.01
Система локализации проскока				
Колонка с сорбентом	0.3	0.8	1.0	0.03
Фильтр "TRUMEM"	0.3	~0	1.2	0.06

Как видно из табл. 2. при линейной скорости воздушного потока 2.0 см/с на 10-слойном пакете фильтров Петрянова общей толщиной 3.0 см поглощается около 99.5 % из 3.0 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, возогнанных с Pt нагревателя. При этом более 95.0 % радиоаэрозолей задерживается на первом слое толщиной 0.3 см. Введение в установку двух барботеров несколько снижает эффективность локализации радиоаэрозолей $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ фильтрами Петрянова. При этом во всей системе поглощается около 97.5% из 3.0 мг $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, возогнанных с Pt нагревателя. Введение 2-х барботеров приводит не только к снижению аэрозольной нагрузки на данные фильтры, но и к

изменению распределения радиоаэрозолей по слоям пакета фильтров Петрянова. Это связано с различием в дисперсном составе радиоаэрозолей, поступающих на фильтры Петрянова, в присутствии и в отсутствие барботеров. Крупнодисперсные радиоаэрозоли $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ в большей степени задерживаются в барботерах, а мелкодисперсные, в том числе и нанометрового размера, проходят через водные растворы барботеров и попадают на фильтры Петрянова. В отсутствие барботеров все радиоаэрозоли $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ попадают на фильтры Петрянова. При этом крупнодисперсные радиоаэрозоли, задерживаясь на первом слое пакета фильтров, создают благоприятные условия для локализации тонкодисперсных радиоаэрозолей. В то же время следует отметить, что система барботирования позволяет увеличить степень поглощения ^{131}I , который присутствовал в системе частично в виде $^{131}\text{I}_2$.

Таким образом, из экспериментов в среде Ag и воздуха можно сделать вывод о том, что высокодисперсные радиоаэрозоли $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$, образующиеся в процессе испарения $^{137}\text{Cs}^{131}\text{I}$ с Pt нагревателя, способны проникать через водные растворы, а также различные фильтрующие материалы (фильтр Петрянова, бумажный фильтр "белая лента").

Представляло интерес выяснить дисперсный состав аэрозолей CsI, имеющих высокую проникающую способность. С этой целью в установку, схема которой приведена на рис. 1. был введен третий барботер, а также были вмонтированы специальные держатели со стеклянными пластинами-коллекторами аэрозолей CsI после каждого из барботеров, фильтра Петрянова толщиной 0.3 см и бумажного фильтра "белая лента".

На рис. 3 показана фотография поверхности стеклянной пластины-коллектора с частицами аэрозоля CsI, возогнанного с Pt нагревателя [7]. В работе [7] нами было показано, что при испарении CsI с Pt нагревателя образуются аэрозольные частицы CsI трех типов: наночастицы размером от 1 до 10 нм, микрочастицы размером от 0.1 до 5 мкм и макрочастицы с

размером от 50 до 200 мкм. При этом количество наночастиц на несколько порядков выше количества микро- и макрочастиц.

Значительная часть наночастиц находилась в скоплениях, в которых, как правило, наночастицы не соприкасались друг с другом. Данные скопления очень подвижны и легко распадаются при воздействии внешних

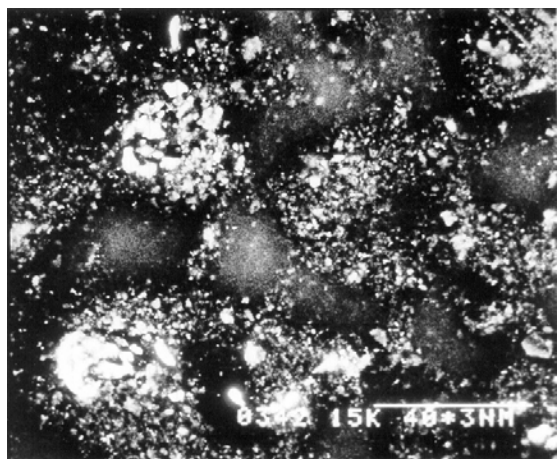


Рис. 3. Аэрозоли CsI, локализованные на стеклянной пластине-коллекторе. (линейка - 120 нм) [7].

факторов, например, в процессе барботирования газового потока через водные растворы. Вместе со скоплениями наночастиц на пластине-коллекторе были обнаружены кластеры из слипшихся наночастиц. Как отмечалось выше, помимо наночастиц также были обнаружены микро- и макро- частицы, формирование которых происходило за счет последо-

вательного присоединения нано-частиц на рис. 4 представлена микро- частица аэрозоля CsI размером около 1 мкм, на поверхности которой отчетливо видны мелкие частицы, размер которых не превышает 50 нм [19].

На рис. 5-7 приведены фотографии поверхности пластин-коллекторов, установленных после каждого из трех барботеров в системе барботирования. Как видно из рис. 5, после первого барботера на пластине-коллекторе локализуются частицы нескольких видов, среди которых отчетливо видны частицы в виде пластин. Длина таких пластин находится в пределах от 0.4 до 1.0 мкм. При этом ширина не превышает 0.15 мкм. Основное количество аэрозолей (более 90 %) находится в виде шаровых частиц размерами от 0.1 до 0.3 мкм. После второго барботера (рис. 6) наблюдается резкое снижение количества частиц, локализованных

на пластине-коллекторе. При этом практически отсутствуют крупные частицы с размером около 1.0 мкм, а также частицы в виде пластин.

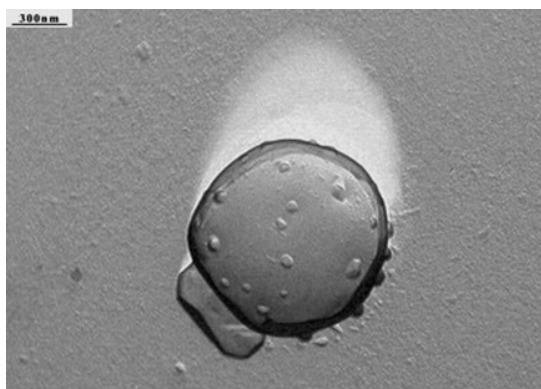


Рис. 4. Частица CsI, локализованная на стеклянной пластине-коллекторе (линейка - 300 нм) [19].

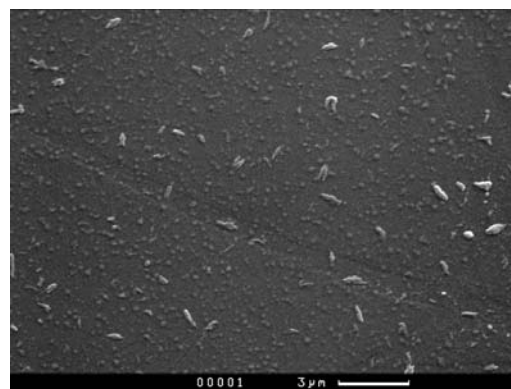


Рис. 5. Аэрозоли CsI, локализованные на стеклянной пластине-коллекторе после первого барботера в установке (схема на рис.1). Линейка - 3 мкм.

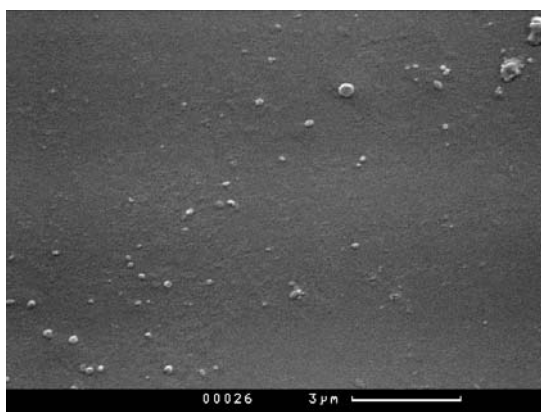


Рис. 6. Аэрозоли CsI, локализованные на стеклянной пластине-коллекторе после второго барботера в установке, схема которой приведена на рис.1 (линейка - 3 мкм).

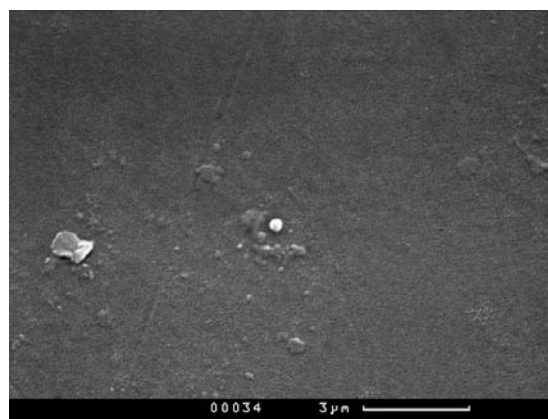


Рис. 7. Аэрозоли CsI, локализованные на стеклянной пластине-коллекторе после третьего барботера в установке, схема которой приведена на рис.1 (линейка - 3 мкм).

Сравнивая рис. 5 и 6 можно видеть, что количество частиц в форме шара с размерами от 0.1 до 0.3 мкм уменьшилось более чем на два порядка величины. На рис. 7 представлены аэрозоли CsI, локализованные на пластине-коллекторе, расположенной после третьего барботера. Видно, что на ее поверхности присутствуют как крупные, так и мелкие частицы. При этом их количество уменьшилось по сравнению со вторым

барботером, но не в такой степени, как это наблюдается при переходе от первого барботера ко второму. Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с данными табл. 1, в которых показано, что введение третьего барботера незначительно сказывается на степени локализации радиоаэрозолей ^{137}Cs ^{131}I в системе барботирования.

На рис. 8 и 9 приведены фотографии поверхностей пластинок-коллекторов, установленных после фильтра Петрянова толщиной 0.3 см и бумажного фильтра "белая лента". Как видно из рис. 8, на поверхности пластины, расположенной после фильтра Петрянова, находятся, в основном, хорошо сформированные частицы, имеющие практически одинаковый вид и размеры от 0.3 до 0.8 мкм. Известно, что частицы такого размера представляют наибольшую проблему при локализации радиоактивных аэрозолей, так как практически не задерживаются в большинстве фильтровальных устройств [10].

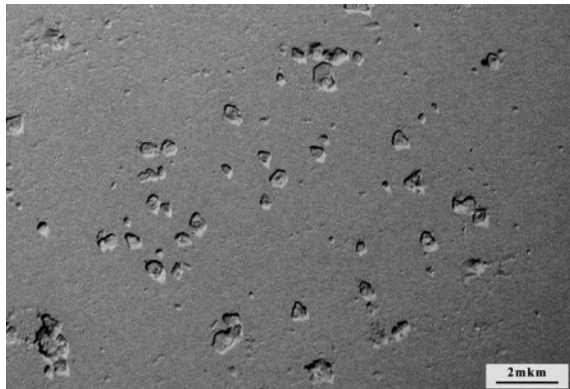


Рис. 8. Аэрозоли CsI, локализованные на стеклянной пластине-коллекторе после фильтра Петрянова в установке, схема которой приведена на рис.1 (линейка - 2 мкм)

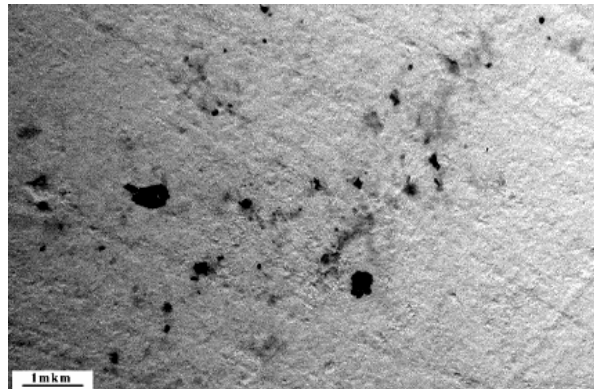


Рис. 9. Аэрозоли CsI, локализованные на стеклянной пластине-коллекторе после бумажного фильтра "белая лента" в установке, схема которой приведена на рис.1 (линейка - 1 мкм)

Из рис. 9 видно, что на поверхности стеклянной пластины-коллектора локализованы частицы аэрозолей CsI разного размера. При этом количество крупных частиц крайне мало и, в основном, представлены частицы с размерами менее 0.1 мкм, т.е. бумажные фильтры "белая лента"

имеют недостаточно высокую локализирующую способность по отношению к частицам нанометрового размера.

В заключение следует отметить, что использование комбинированных систем очистки газовых потоков, включающих в себя различные устройства (скрубберы, фильтры, циклоны и т.д.), позволит осуществить надежную локализацию радиоактивных аэрозолей, в том числе и нанометрового размера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 07-03-00557) и Отделения химии и наук о материалах РАН (программа фундаментальных исследований ОХНМ РАН № 9ох "Новые подходы к повышению коррозионной и радиационной стойкости материалов, радиозэкологическая безопасность" /академик А.Ю. Цивадзе/).

Литература

1. Морями К., Фуруя Х. // Атомная техника за рубежом. 1998. № 10. С. 20 - 26.
2. Крюков Ф.Н., Кислый В.А., Кормилицын М.В. и др. // Атомная энергия. 2005. Т. 99. № 5. С. 380 - 387.
3. Potter P. E., Rand M.H., Abcock C.B. // J. Nucl. Mater. 1985. V. 130. No 1. P. 139 - 153.
4. Романов В.М., Панкратов Д.В., Лузанова Л.М. и др. // Атомная энергия. 1997. Т. 2. № 3. С. 204 - 209.
5. Andre B., Ducros G., Leveque J.P. et al // Nucl. Technol. 1996. V. 114, No 1. P. 23 - 50.
6. Jones A.V., Kissane M.K. // J. Aerosol Sci. 2000. V. 31. No 1. P. S37 - S38.
7. Михеев Н.Б., Мелихов И.В., Кулюхин С.А. и др. // Радиохимия. 1996. Т. 38, № 5. С. 464 - 470.

8. Мелихов И.В., Михеев Н.Б., Кулюхин С.А., Козловская Э.Д. // Коллоидный журнал. 2001. Т. 63. № 6. С. 808 - 815.
9. Кулюхин С.А., Михеев Н.Б., Каменская А.Н. и др. // Радиохимия. 2005. Т. 47, № 2. С. 171 - 176.
10. Particulate Filtration in Nuclear Facilities // IAEA Technical Reports Series. 1991. N 325. 101 p.
11. Design of Off-Gas and Air Cleaning Systems at NPP // IAEA Technical Reports Series. 1987. No 274.
12. Устинов О.А., Суханов Л.П., Якунин С.А., Растунов Л.Н. // Росс. химич. журнал. 2005. Т. 49, № 4. С. 54 - 60.
13. Eckardt B., Hill A. // Proc. Intern Conf. "TopSafe'95", September 24 - 27, 1995. Budapest, Hungary. V. II. P. 189 -192.
14. Ferroni F., Schiel L. // Energia Nucleare. 1994. V. 11. N 2. P. 1 - 8.
15. Lindau L. // J. Aerosol Sci. 1988. V. 19, No 7. P. 1389 - 1392.
16. Высокоэффективное фильтрационное оборудование для очистки газовых сред от радиоаэрозолей и радиоиода // Материалы ГНЦ РФ Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского. г. Обнинск. Россия. 2003.
17. Комышный В.Н., Ягодкин И.В., Мартынов П.Н. и др. // Тезисы докладов. Межд. научно-практ. конф. "Аэрозоли и безопасность", 24 - 28 октября 2005. Обнинск, Россия. С. 218 - 219.
18. Мартынов П.Н., Мельников В.П., Паповянц А.К., Ягодкин И.В. // Тезисы докладов. IV Межд. конф. "Воздух-2004", 9 - 11 июня 2004. Санкт-Петербург, Россия. С. 200.
19. Кулюхин С.А., Кулемин В.В., Румер И.А. и др. // Радиохимия. 2007. Т. 49, № 1. С. 78 - 83.
20. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии. - М.: Мир. 1972. 300 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОНКОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ФИЛЬТРАМИ ИЗ ПОРИСТЫХ ВОЛОКОН

Кириш В.А.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН

Рассмотрено течение газа при малых числах Рейнольдса и осаждение броуновских аэрозольных частиц конечного размера в простейшем модельном фильтре – изолированном ряду параллельных пористых проницаемых волокон и волокон с пористыми проницаемыми оболочками, расположенных перпендикулярно набегающему потоку газа. Использование таких волокон позволяет интенсифицировать процессы сорбции, катализа, тонкой фильтрации газов и жидкостей. Система волокон с проницаемыми оболочками служит также моделью для фильтра с осадком на волокнах, позволяя исследовать кинетику забивки фильтров твердыми частицами с учетом обратного влияния осадка на поле течения в фильтре [1] (рис. 1б).

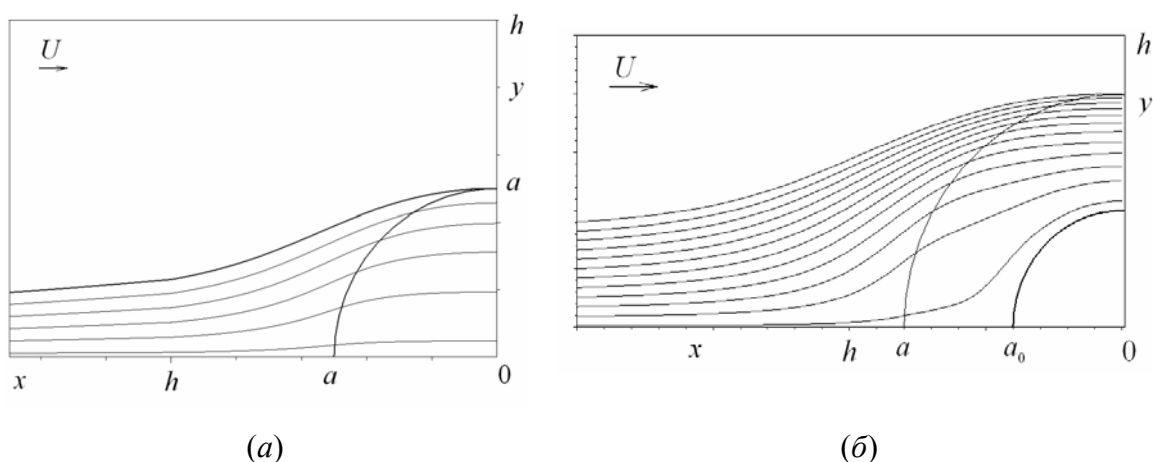


Рис. 1. Линии тока в пределах фильтруемой доли общего потока при обтекании ряда пористых цилиндров с радиусом a , $h\kappa^{-1/2} = 25$ (а), и цилиндров радиуса a_0 с пористыми оболочками радиуса a , $a_0\kappa^{-1/2} = 12.5$ (б).

1. *Гидродинамика.* Поле течения находится решением граничной задачи (в области, показанной на рис. 1) для уравнений Стокса и Бринкмана, записанных в терминах функций тока [2],

$$\Delta\Delta\Psi^e = 0, \Delta\Delta\Psi^i - S^2\Delta\Psi^i = 0 \quad (1)$$

где $S = Da^{-1/2} = lk^{-1/2}$ – параметр проницаемости, Da – число Дарси, k – проницаемость пористого волокна, индексы i, e обозначают соответственно область пористого цилиндра (пористой оболочки) и внешнюю к нему область. Здесь все переменные приведены к безразмерному виду нормированием на скорость потока перед фильтром U и характерный линейный размер l . Решение системы (1) находится с помощью метода граничной коллокации [3]. Примеры расчета для линий тока, профилей скоростей и сил сопротивления даны на рис. 1-3.

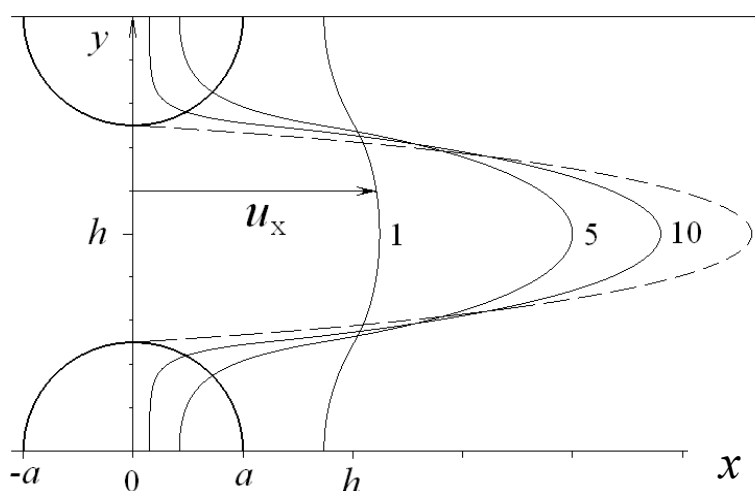


Рис. 2. Профили скорости в ряду пористых цилиндров при $x = 0$: $h = 2a$. Цифры на кривых – значения $hk^{-1/2}$.

2. *Эффективность осаждения частиц.* Используя полученное поле скоростей u , находится распределение концентрации аэрозольных частиц n . Уравнение конвективной диффузии

$$\text{Pe}^{-1} \Delta n - \mathbf{u} \cdot \nabla n = 0$$

решается в широком диапазоне диффузионных чисел Пекле Pe и расстояний между волокнами в ряду $2h$ с помощью схемы метода прямых (основанной, в свою очередь, на монотонной конечно-разностной схеме Берковского-Полевикова [4]). Коэффициент захвата волокна находится по формуле

$$\eta = \int_0^\pi \left(\text{Pe}^{-1} \nabla_r n - u_r n \right) \Big|_{r_a} d\theta, \quad (2)$$

где $\text{Pe} = lU/D$, $r_a = (a + r_p)/l$, D – коэффициент диффузии частиц радиуса r_p .

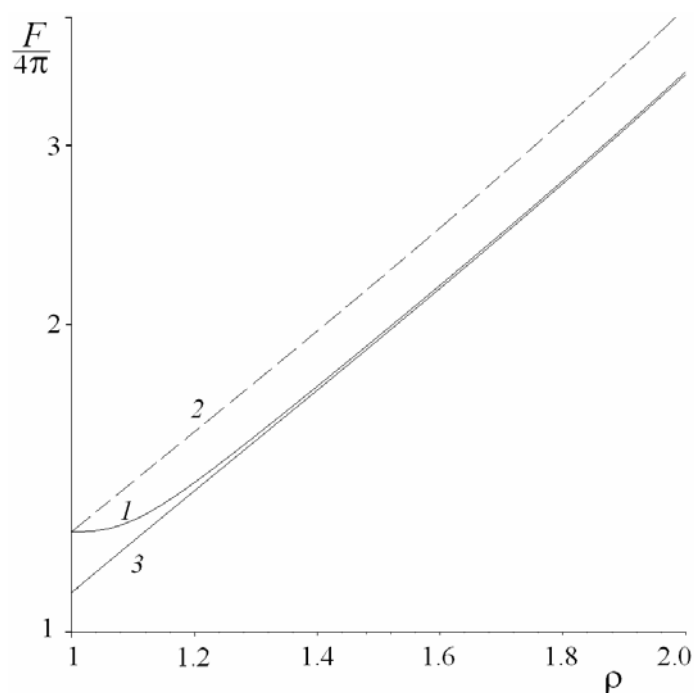


Рис. 3. Безразмерная сила сопротивления цилиндра с пористой оболочкой в ряду от радиуса пористой оболочки $\rho = aa_0^{-1}$ (кривая 1), 2 – равный непроницаемый цилиндр, 3 – равный пористый цилиндр, $ha_0^{-1} = 3.963$. $a_0 \kappa^{-1/2} = 17.5$.

На рис. 4 показаны зависимости критерия качества фильтра из волокон с пористыми оболочками, рассчитанные по известной формуле,

$$\gamma = -\ln(n/n_0)/(\Delta p/U\mu) = 2a_0\eta/F, \quad (3)$$

где n/n_0 – проскок частиц, Δp – перепад давления через фильтр, μ – вязкость газа, F – безразмерная сила сопротивления волокна с пористой оболочкой. Сплошные кривые (1 – 3) рассчитаны с учетом диффузионного осаждения частиц, пунктирные (1' – 3') – без учета диффузии. Максимум на кривых критерия качества соответствует оптимальным радиусам оболочек.

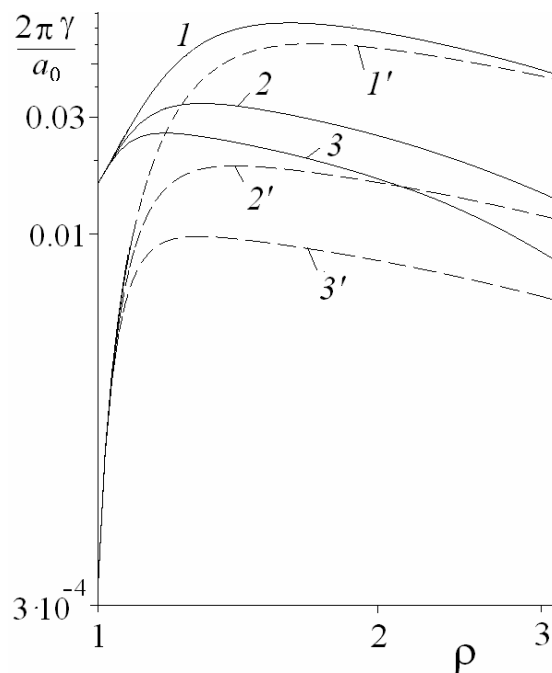


Рис. 4. Зависимости критерия качества модельного фильтра от радиуса оболочек для разных параметров проницаемости оболочек $a_0 \kappa^{-1/2} = 5$ (1. 1'), 10 (2. 2'), 15 (3. 3'): $r_p = 100$ нм, $U = 5$ см/с, $a_0 = 5$ мкм, $h a_0^{-1} = 3.963$.

Из рисунка следует, что интенсификация процесса тонкой фильтрации за счет образования на поверхности волокон пористых оболочек из нановолокон или слоя частиц возможна только в том случае, если оболочки не перекрываются.

3. *Моделирование кинетики забивки.* На основе полученных зависимостей для силы сопротивления и коэффициента захвата волокна с

пористой оболочкой, была впервые исследована кинетика забивки фильтров частицами с учетом диффузионного осаждения в рамках подхода, предложенного в [1]. Осаждение частиц в режиме зацепления исследовалось ранее в работах [1], [5]. Забивка инерционными частицами рассматривалась в [6]. В развиваемом нами методе радиус пористых оболочек задается как функция времени забивки, координаты внутри фильтра z , отсчитываемой от лобового слоя, и начальных параметров фильтра (плотности упаковки, радиуса волокон) при заданных условиях фильтрации (скорости набегающего потока воздуха, радиуса и входной концентрации монодисперсных сферических частиц), при этом учитывается изменение поля течения вблизи запыляемых волокон по глубине фильтра.

Решением кинетических уравнений забивки с учётом того, что коэффициент захвата $\eta(\rho)$ и сила сопротивления $F(\rho)$ являются функциями радиуса пористой оболочки, были получены формулы для безразмерного времени объёмной забивки τ , перепада давления Δp и объёма частиц V , осевших внутри фильтра на единице площади:

$$\tau = \int_1^{\rho_2} \frac{\rho d\rho}{\eta(\rho)} \quad (4)$$

$$\Delta p = \frac{U\mu}{a} \int_{\rho_1}^{\rho_2} \frac{F(\rho)\rho d\rho}{\eta(\rho)(\rho^2 - 1)} \quad (5)$$

$$V = \pi\beta_1 a \int_{\rho_1}^{\rho_2} \frac{\rho d\rho}{\eta(\rho)} \quad (6)$$

где $\tau = gt$, $g = Uvn_0 / \pi\beta_1 a$, t – время забивки, n_0 и n – концентрация частиц в потоке на входе и выходе фильтра, μ – динамическая вязкость газа, v – объём частицы, ρ_2 и ρ_1 – безразмерные радиусы пористых оболочек на входе и на выходе фильтра, соответственно. Радиус пористой оболочки в лобовом слое фильтра ρ_2 определяется как функция от времени по

формуле (4), а радиус ρ_1 находится численным интегрированием уравнения, описывающего изменение количества осевших частиц по глубине фильтра:

$$\frac{d\rho}{dh} - aL \frac{\eta(\rho)(1-\rho^2)}{\rho} = 0, \quad \rho(0) = \rho_2, \quad (7)$$

где $L = \alpha / \pi a^2$ – полная длина волокон в единице объёма фильтра, $h = z/H$, H – толщина фильтра.

Обозначим за время забивки время до начала образования сплошного слоя осадка на лобовой поверхности фильтра $\tau = \tau^*$. За время $\tau = \tau^*$ полный объём прошедших частиц V через единицу площади определяется как:

$$V = vn_0Ut = \pi\beta_1 a_1 \tau, \quad \tau \leq \tau^*. \quad (8)$$

Коэффициент проскока частиц через префильтр определяется по формуле:

$$P = \frac{\rho_1^2 - 1}{\rho_2^2 - 1}. \quad (9)$$

Число осевших на волокнах частиц в единице объёма фильтра связано с локальными значениями радиусов пористых оболочек как

$$N = \alpha\beta_1 (\rho(h, \tau)^2 - 1) / v. \quad (10)$$

В формулах (4) – (10) использовался коэффициент захвата (2), найденный для броуновских частиц из численного решения уравнения конвективной диффузии.

Было показано, что использование относительно простой ячеечной модели и модели в виде ряда параллельных волокон, дает близкие результаты для кинетических кривых забивки (рис. 5а). На рис. 5б дано сравнение кинетических кривых, построенных с учетом и без учета диффузии, откуда видно, что пренебрежение диффузией частиц ведет к переоценке (на момент окончания забивки) пылеемкости фильтра V .

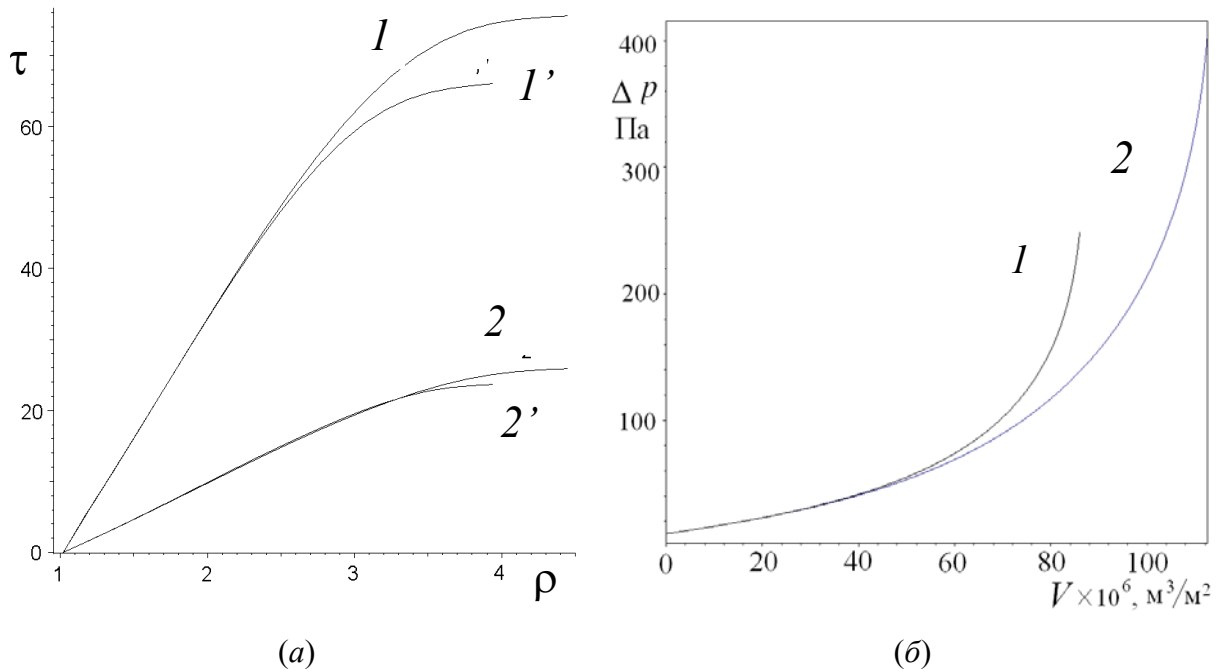


Рис. 5. (а) – Безразмерное время забивки от радиуса пористых оболочек на волокнах на входе в фильтр: $Pe = 1000$ (1. 1'), 100 (2. 2'), $R = 0.02$. $\alpha = 0.05$. $S = 17.5$. Расчет для цилиндра в ячейке (1. 2) и для ряда цилиндров с пористыми оболочками (1', 2') при одинаковых α ; (б) – перепад давления от объема уловленных частиц до момента забивки фильтра: $r_p = 0.1$ мкм, $a_0 = 5$ мкм, $U = 4$ см/с ($Pe = 910$. $R = 0.02$), $\alpha = 0.03$. $\beta_1 = 0.08$ ($S = 23.9$), 1 – с учетом диффузии, 2 – без учета диффузии.

Как следует из рис. 6, учет диффузии частиц дает более резкое распределение осадка по толщине. Чем больше коэффициент захвата, тем быстрее забивается фильтр, при этом осаждение идет преимущественно на входе в фильтр. При этом конечное сопротивление и число осевших частиц на момент окончания объемной забивки (пылеемкость) будут меньше. Поэтому с учетом диффузии пылеемкость фильтра будет заметно меньше.

Отметим, что дополнительный учет гравитации для тяжелых броуновских частиц (ведущий к росту коэффициента захвата) не дает столь заметного эффекта, как следует из кинетических кривых на рис. 7.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 06-03-32314.

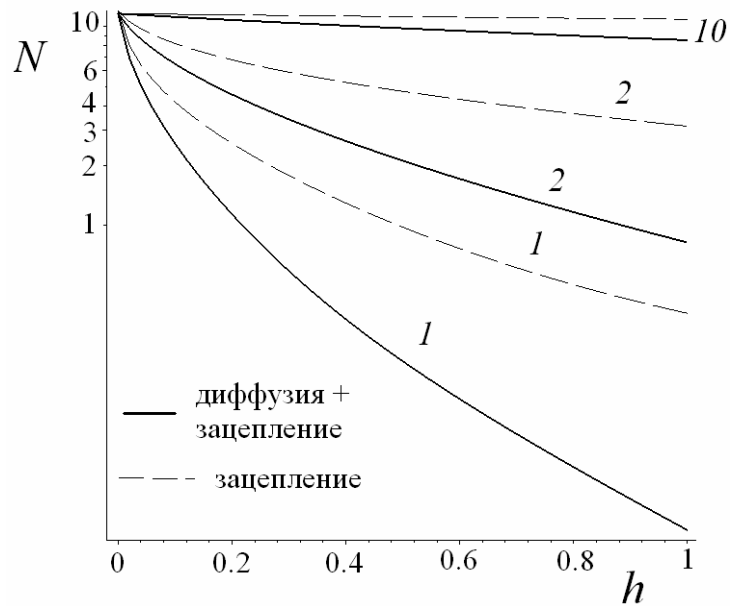


Рис. 6. Число осевших частиц с радиусом $r_p = 0.1$ мкм на момент объемной забивки по глубине фильтра с различными радиусами волокон (цифры на кривых на рис., в мкм), образованного при скорости $U = 1$ см/с, с учетом (сплошные линии) и без учета (пунктир) диффузионного осаждения: $\beta = 0.08$, $\alpha = 0.03$.

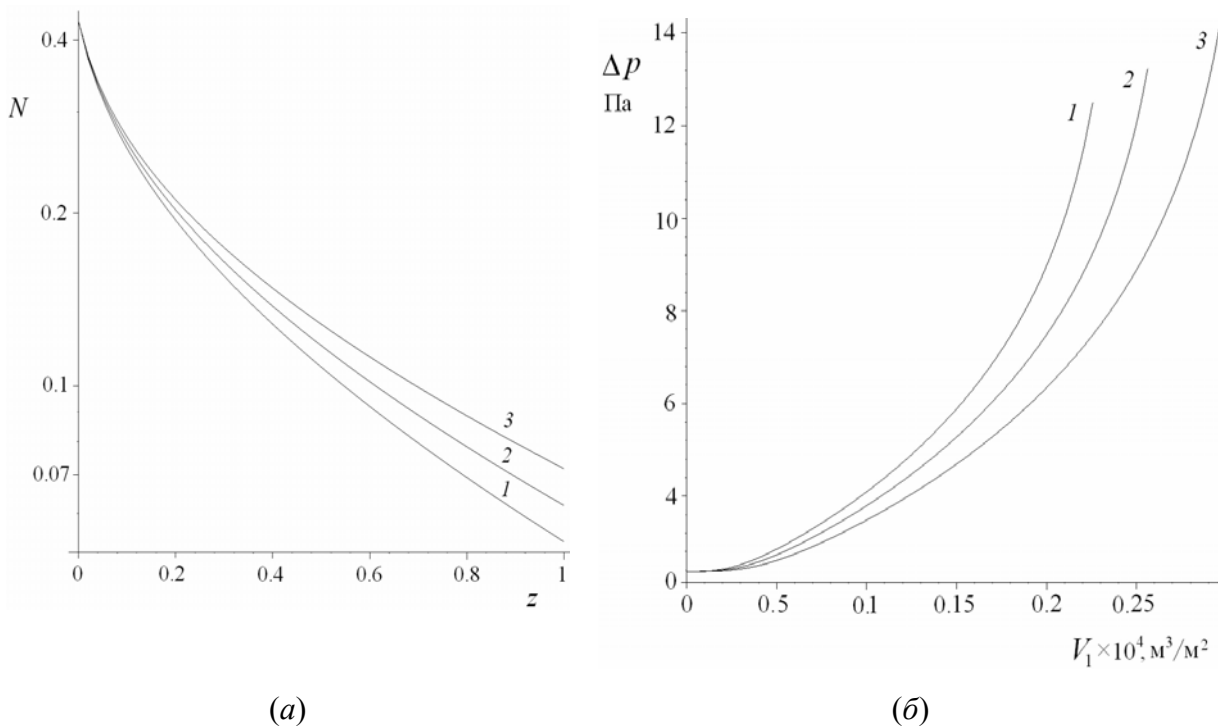


Рис. 7. Число осевших броуновских «тяжелых» частиц по глубине фильтра на момент объемной забивки (а) и зависимости роста перепада давления от объема осевших частиц на единице площади (б): $r_p = 0.05$ мкм, $U = 1$ см/с, $\beta = 0.08$, $\alpha = 0.03$. $a = 2$ мкм, плотность частиц $d = 10$ г/см³. 1 – нисходящий поток, 3 – восходящий поток, 2 – без учета вклада гравитации.

Литература

1. Кирш В.А. Коллоидный журнал, 1998. Т. 60. № 4. С. 480.
2. Кирш В.А. Коллоидный журнал, 1996. Т. 58. № 6. С. 786.
3. Kolodziej J.A. Solid Mech. Arch., 1987. Vol. 12. No 4. P. 187.
4. Берковский Б.М., Ноготов Е.Ф. Разностные методы исследования задач теплообмена. Минск: Наука и техника, 1976.
5. Стечкина И.Б., Кирш В.А. Коллоидный журн. 2001. Т. 63. № 4. С. 517.
6. Kirsch V.A. J. Filtration Soc. / The Transactions of the filtration society. 2002. Vol. 2. No 4. P. 109.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА (II) В ВЫБРОСАХ АВТОТРАНСПОРТА

Савенко Г.И., Стручаев А.И., Копыт Н.Х.

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

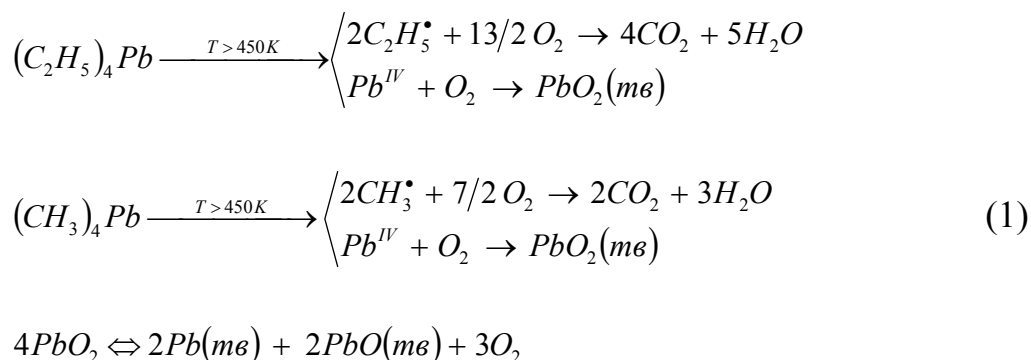
Ключевые слова: выбросы автотранспорта, определение свинца

В настоящее время основным источником загрязнения воздушного бассейна крупных городов является автомобильный транспорт. В ряду наиболее распространенных загрязнителей биосферы особую опасность представляют высокотоксичные соединения свинца. В некоторых мегаполисах они попадают в окружающую среду с выбросами бензиновых двигателей автотранспорта в таком количестве, что заводы по выплавке свинца могут быть отнесены к второстепенным источникам загрязнения среды. Концентрация вредных компонентов в составе выхлопных газов, особенно на оживленных перекрестках, часто превышает предельнодопустимые нормы в несколько раз. Они обладают способностью накапливаться в организме и вызывать заболевания нервной системы, органов дыхания, приводить к изменению состава крови, провоцируя многие системные расстройства здоровья. Это, естественно, требует постоянного наблюдения за текущей концентрацией соединений свинца и динамикой их накопления.

Известно [1], что бензин представляет собой смесь летучих углеводородов различного группового состава (ароматические, нафтеновые, парафиновые и непредельные углеводороды). Его качество как автомобильного топлива определяется октановым числом, причем бензины с высоким октановым числом обеспечивают более равномерное и полное сгорание, являясь более эффективным горючим для

автомобильных карбюраторных двигателей. Кроме того, для улучшения качества бензина в него добавляют различные топливные присадки [2], основную часть которых составляют антидетонаторы – вещества, помогающие управлять скоростью горения. Чаще всего для этих целей используют металлоорганические соединения свинца, например тетраэтилсвинец $(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{Pb}$, реже тетраметилсвинец $(\text{CH}_3)_4\text{Pb}$. Причем содержание этих добавок в количестве 0.45 – 0.82 г/л бензина повышает его октановое число на 10-12 единиц (ГОСТ 10373-75) В то время как это число у «рядовой» бензиновой фракции обычно не превышает 60. В современном топливе за счет внесенных добавок оно может достигать 90 и выше. По имеющимся оценкам, с выхлопными газами бензиновых двигателей в атмосферу ежегодно выбрасывается различных соединений свинца около 1 % массы всего сожженного бензина. Тенденция перехода автомобилей на бензины с более высокими октановыми числами только усугубляет это положение.

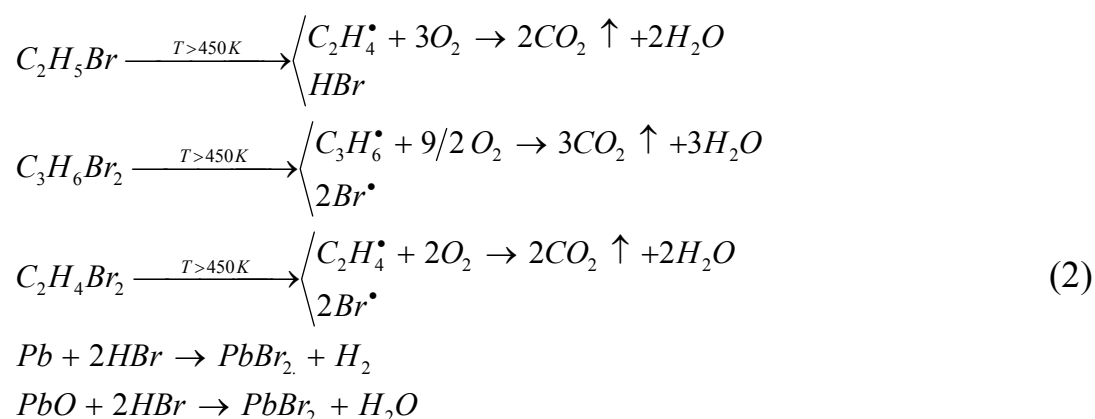
Присутствие в выбросах продуктов сгорания соединений свинца в виде аэрозольных частиц объясняется тем, что пары тетраэтилсвинца или тетраметилсвинца, нагретые в присутствии кислорода до температур выше 450 К, интенсивно окисляются с образованием твердых частиц свинца и оксида свинца (II). Как наиболее вероятные можно принять следующие схемы протекания реакций при термическом разложении тетраэтилсвинца (ТЭС) и тетраметилсвинца (ТМС):



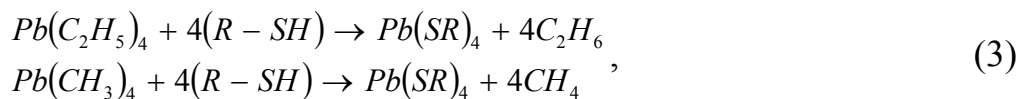
При температуре выше 870 К разложение ТЭС и ТМС идет полностью.

Обычно в бензин наряду с указанными антидетонаторами добавляют еще и так называемые «выносители» - галагенированные углеводороды бромистый этил (C_2H_5Br), 1.2-дибромпропан ($C_3H_6Br_2$) или дибромэтан ($C_2H_4Br_2$). Они предназначены для превращения продуктов окислительного распада тетраэтилсвинца (или тетраметилсвинца) в летучие галоидные соединения свинца (II), имеющие гораздо более высокую упругость паров. При сгорании бензина в двигателе они также реагируют со свинцом, образуя бромид свинца (II), который выбрасывается в атмосферу с выхлопными газами в аэрозольном виде.

С учетом (1) этот процесс можно представить в виде следующих схем



Кроме того, присутствующие в автомобильных бензинах различные соединения серы (в пределах 0.10 - 0.15 % от общей массы), в зависимости от происхождения углеводородов могут содержать сульфиды (R_2-S), сульфоксиды ($R_2S=O$), сульфоны (R_2-SO_2), сульфеновые (R_2-SOH), сульфиновые ($R-SO_2H$) и сульфоновые кислоты ($R-SO_3H$). При взаимодействии с ТЭС и ТМС они дают множество соединений свинца. Например, меркаптаны (тиолы $R-SH$) вступают в следующую реакцию с тетраэтилсвинцом или тетраметилсвинцом:



В результате образуются вредные соединения серы со свинцом. К тому же, выброс отработанных газов в атмосферу содержит еще оксиды серы: диоксид серы в виде кислотного полигидрата $SO_2 \cdot nH_2O$, называемого сернистой кислотой, и триоксид серы SO_3 , сравнительно легко образующий с водяными парами во влажной атмосфере серную кислоту в аэрозольном виде.

Несомненно, алкильные соединения свинца эффективнее улучшают рабочие характеристики используемых автомобильных бензинов, чем используемые в некоторых случаях пентакарбонил железа $Fe(CO)_5$ или метилциклопентадиенилтрикарбонил марганца $CH_3C_5H_4Mn(CO)_3$. Однако их применение связано с нанесением значительного вреда окружающей среде [3]. Причем большая часть выбросов сосредоточена в городской и пригородной зоне, где наблюдаемая концентрация свинца в водах, атмосферных осадках и сельскохозяйственных продуктах, выращиваемых поблизости автомагистралей (особенно в фруктах из придорожной лесополосы), оказывается намного (в несколько раз!) выше допустимого уровня. В связи с опасностью накопления свинца как в природных объектах, так и в организме человека, необходимы точные и оперативные методы измерения и контроля поступлений рассеянного свинца в окружающую среду. Это в первую очередь относится к экспресс-определениям его микроколичеств в аэрозольных выбросах автотранспорта не только для контроля, но и для оперативного предупреждения избыточных вредных выбросов.

Среди распространенных методов определения соединений свинца (II) в природных объектах важное место занимают экстракционно-фотометрические [4] и ионообменные [5]. Недостатком первых является необходимость тщательной очистки всех используемых реактивов и

применение для маскирования цианидов, а для вторых – значительные затраты времени на определение.

Требованиям высокой экспрессности, относительной простоты и оперативности, особенно при серийных определениях микроколичеств свинца и его токсичных соединений, отвечает сорбционно (спектро)-фотометрический метод. Он отличается простотой выполнения и, благодаря большому выбору специальных реакций, высокой чувствительностью.

В работе представлены результаты использования метода сорбционного выделения свинца (II) из водных растворов для проб аэрозольных выбросов из двигателей внутреннего сгорания с последующим фотометрическим определением с 1-(2-пиридилазо)-резорцином (ПАР).

Определение соединений свинца (II) в выхлопных газах

Для улавливания свинца пробу исследуемых выхлопных газов бензинового двигателя (35 – 100 дм³), содержащую аэрозольные частицы соединений свинца при помощи компрессора протягивали со скоростью 5 - 8 л/мин через поглотительную систему, состоящую из патрона с бумажным фильтром для задержки твердых частиц и последовательно подключенного сорбента-поглотителя для улавливания паров соединений свинца (II).

В качестве сорбента использовали силикагель, очистка которого проводилась модифицированным методом Шеферда [6]. Силикагель длительно обрабатывали 25-% раствором азотной кислоты на водяной бане, а затем отмывали в кипящей воде, меняя ее до тех пор, пока значение рН промывной воды через 48 ч выстаивания не оказывалось менее 5. Гель обезвоживали при 100 °С, а затем в течение двух суток выдерживали при 320 °С. После чего измельченным силикагелем, просеянным через сито с

отверстиями 0.75 мм, наполняли сорбционные трубки с внутренним диаметром 4 мм. Гидравлическое сопротивление такой трубки при протягивании пробы со скоростью 5 л/мин составляло 110 мм рт. ст.

Сухой осадок, полученный на бумажном фильтре, и адсорбированные на силикагеле пары соединений свинца затем переводили в раствор смесью фтористоводородной (HF) и серной (H₂SO₄) кислот с последующим концентрированием одним из известных способов [7]. Наиболее выраженными сорбционными свойствами по отношению к свинцу в растворах обладали активированные силикагели СГ 100/250. СГ 40/100 и СГ 5/40.

Оптимизацию сорбции ионов свинца (II) проводили в статическом режиме в растворах объемом 50 - 100 мл с навесками сорбента массой 0.10 - 0.30 г. Наиболее высокая сорбция наблюдалась при рН 8,0 (продолжительность контакта 60 мин, навеска сорбента 0.15 г, температура 20 °С, ионная сила раствора 0.1)

Для десорбции ионов свинца (II) применяли растворы кислот различной концентрации, а количество десорбированных ионов находили в элюате фотометрическим методом. Установлено, что наиболее полное извлечение свинца достигалось применением 0.1 М раствора соляной кислоты HCl и раствора уксусной кислоты CH₃COOH (1 : 1).

Концентрацию свинца в отобранной пробе определяли по формуле

$$C_{Pb} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot V_c}{V_a \cdot V_0} \quad (4)$$

где m_1 и m_2 - массы свинца, найденные в 1 мл раствора после обработки фильтра и поглощающего сорбента соответственно, мкг; V_c - общий объем пробы, мл; V_a - объем пробы, взятый для анализа, мл; V_0 - объем исследуемых выхлопных газов, приведенный к нормальным условиям, дм³.

Определение соединений свинца (II) в придорожных отложениях

Пробу смеси грунта с травой и опавшими листьями (из расчета на 1.5 г воздушносухого композита) переводили в раствор смесью фтористоводородной и серной кислот, как указано в методике [8]. Количество адсорбированных ионов свинца (II) находили по разности между исходной и остаточной концентрацией ионов в центрифугате, определенной фотометрическим методом. Оптическую плотность сорбента, отделенного от раствора после 60-минутного встряхивания в АБУ-6 и последующего центрифугирования в течение 5 мин, определяли на спектрофотометре СФ-16 в кювете $l = 2.0$ см при длине волны $\lambda = 540$ нм относительно раствора холостого хода. Концентрацию свинца (II) находили по градуировочному графику. Требуемую величину рН создавали растворами HNO_3 и NaOH и контролировали ионометром ЭВ-74.

Более подробно методика выделения и условия маскирования мешающего влияния сопутствующих ионов хрома (III), алюминия (III), железа (III), меди (II), кобальта (II) были изучены и описаны ранее [5].

Нижний предел определения концентрации свинца с ПАР составлял 0.01 мкг/л при заборе пробы от работающего на холостом ходу двигателя в течение 35 - 50 с. При этом следует отметить, что предельнодопустимая концентрация неорганических соединений свинца (II) в воздухе составляет примерно 0.001 мг/м^3 [9], т.е. чувствительность метода отвечает требованиям высокой точности, что позволяет использовать для репрезентативного анализа сравнительно небольшие объемы выхлопных газов.

Достоверность полученных результатов подтверждена данными атомно-эмиссионного анализа как на природных объектах (иловые лечебные грязи Крыма, донные отложения Куяльницкого лимана, природные воды), так и на модельных пробах с заведомо известным

содержанием свинца (в экспериментах оно соответствовало среднему составу иловых грязей и равнялось 8.28 мкг/мл).

Предлагаемая методика определения свинца в воздухе, содержащем выхлопные газы бензинового двигателя, отличается простотой выполнения, экспрессностью и высокой чувствительностью, что позволяет применять ее не только в стационарных, но и в мобильных лабораториях, занимающихся контролем качества окружающей среды.

Литература

1. Товарные нефтепродукты: свойства и применение // Справочник под ред. В.М. Школьников. – М.: Химия, 1987. – 572 с.
2. Саблина З.А., Гуреев А.А. Присадки к моторным топливам. - М.: Химия, 1988.- 472 с.
3. Бакач Т. Охрана окружающей среды / Пер. с венг. – М.: Медицина, 1990. – 216 с.
4. Роева Н.Н., Савин С.Б. Фотометрическое определение свинца с тиродином // Определение нормируемых компонентов в природных и сточных водах. – М.: Наука, 1997. – С. 44 - 47.
5. Малахова Н.М., Оленович Н.Л., Котельная Н.И. Изучение некоторых пиридил- и тиазолилазо- соединений как аналитических реагентов на свинец // Журн. аналитической химии, 1980. - Т. 35. № 3. С. 475 – 480.
6. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте / Пер. с нем. – Л.: Химия, 1985. - 340с.
7. Малахова Н.М., Никипелова Е.М., Савенко Г.И. Фотометрическое определение свинца (II) в природных объектах с его предварительным сорбционным концентрированием // Химия и технология воды, 1990. - Т.12. № 7. – С. 627 – 629.
8. Веригина К.В. Методы определения микроколичеств элементов в почвах и растениях. – М.: Изд-во АН СССР, 1987, 336 с.
9. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе и воде / Изд. 2-е пер. и доп. – Л.: Химия, 1975, 456 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ КАПЕЛЬ В АТМОСФЕРЕ, СОДЕРЖАЩЕЙ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ДОБАВКИ

Обвинцев Ю.И.¹, Минашкин В.М.¹, Нужный В.М.²

¹ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», Москва

²Киевский национальный университет, Киев

Процесс испарения одиночной капли, осложнённый протеканием химической реакции в газовой фазе

В основу процесса положены следующие предположения: сферическая капля вещества A помещается в неограниченную среду газа, содержащего химически активное вещество B (рис. 1). При взаимодействии паров вещества капли с веществом B вокруг капли формируется зона химической реакции C . Тепло, выделяющееся в зоне химической реакции, идёт на формирование двух тепловых потоков: к капле и в окружающую среду. Тепловой поток, идущий к капле, расходуется на испарение вещества капли и разогрев паров от температуры капли T_A до температуры зоны химической реакции T_C . В результате получается самосогласованная система, в которой количество выделяющегося в зоне химической реакции тепла определяет температуру и концентрацию паров капли, от которых в свою очередь, зависит количество выделяющегося тепла в зоне реакции.

При описании процесса сделаны следующие предположения, упрощающие расчёты: полагаем процесс квазистационарным; считаем скорость химической реакции высокой, что позволяет рассматривать зону химической реакции как тонкую поверхность сферы, в которой концентрации веществ A и B равны нулю; продукты реакции не оказывают

влияния на скорость испарения и температуру в зоне химической реакции; считаем, что коэффициент теплопроводности воздуха постоянен, коэффициенты диффузии веществ A и B в воздухе приблизительно равны и также неизменны; скачки концентрации и температуры на границе жидкость - газ, а также свободную конвекцию, вызванную неоднородностью плотности и температурного поля, не учитываем; концентрация вещества A у поверхности капли c_{A_0} равна упругости насыщенных паров вещества капли в начальный момент времени при $T_A = T_0$. Начальная температура капли T_{A0} равна температуре окружающей среды.

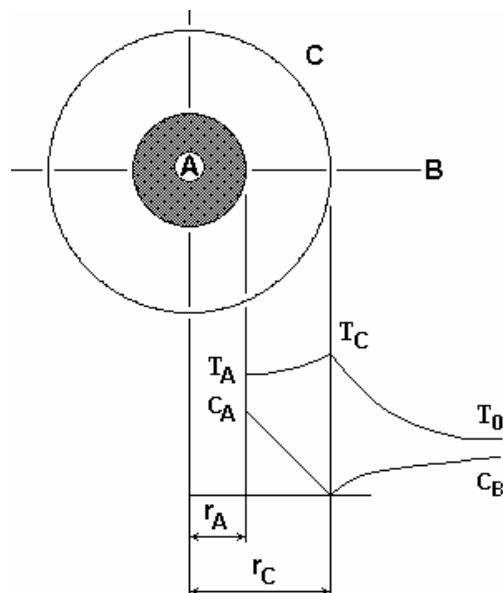


Рис 1. Схема процесса испарения с распределением концентрации и температуры.

Обозначения: T_A , T_C и T_0 – температуры капли, зоны химической реакции и окружающей среды соответственно. c_A и c_B – концентрация вещества A у поверхности капли и концентрация вещества B в газовой фазе. r_A и r_C – радиус капли и радиус зоны химической реакции.

Основные уравнения

Таким образом, на основании сделанных предположений процесс испарения может быть описан уравнениями диффузии для веществ A и B , теплопроводности, теплового баланса зоны химической реакции и испаряющейся капли:

$$D_A \left(\frac{d^2 c_A}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dc_A}{dr} \right) = 0 \quad (1)$$

$$D_B \left(\frac{d^2 c_B}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dc_B}{dr} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\lambda \left(\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (3)$$

$$Q_p \cdot 4\pi r_C^2 D_A \frac{dc_A}{dr} \Big|_{r=r_C} = -\lambda \cdot 4\pi r_C^2 \frac{dT_{AC}}{dr} \Big|_{r=r_C} + \lambda \cdot 4\pi r_C^2 \frac{dT_{BC}}{dr} \Big|_{r=r_C} \quad (4)$$

$$\frac{4}{3} \pi r_A^3 \rho c_p \frac{dT_A}{dt} = -\lambda \cdot 4\pi r_C^2 \frac{dT_{AC}}{dr} \Big|_{r=r_C} + \Delta H \cdot 4\pi r_C^2 \cdot D_A \frac{dc_{A(r)}}{dr} \Big|_{r=r_C} + c_p (T_C - T_A) \cdot 4\pi r_C^2 \cdot D_A \frac{dc_{A(r)}}{dr} \Big|_{r=r_C} \quad (5)$$

Здесь, r - радиальная координата сферической системы координат с началом в центре капли; ρ - плотность вещества капли; λ - коэффициент теплопроводности воздуха; D_A и D_B - коэффициенты диффузии веществ A и B в воздухе; Q_p - тепловой эффект реакции; ΔH - теплота испарения вещества капли, $\lambda \cdot 4\pi r_C^2 \frac{dT_{AC}}{dr} \Big|_{r=r_C}$ - тепловой поток от зоны реакции к капле; $\lambda \cdot 4\pi r_C^2 \frac{dT_{BC}}{dr} \Big|_{r=r_C}$ - тепловой поток от зоны реакции в окружающую среду;

Полученные уравнения

Решение системы уравнений (1 - 5) приводит к следующим уравнениям:

1) Радиус зоны химической реакции:

$$r_C = r_A \left(1 + \frac{c_{A_0}}{c_{B_0}} \right) \quad (6)$$

2) Радиальное распределение концентрации паров капли и паров воды:

$$c_{A(r)} = \frac{r_A}{r} (c_{A_0} + c_{B_0}) - c_{B_0} \quad (7),$$

$$c_{B(r)} = c_{B_0} - \frac{r_A}{r} (c_{A_0} + c_{B_0}) \quad (8),$$

где c_{B_0} - концентрация паров воды на бесконечности, $c_{A(r)}$ и $c_{B(r)}$ - концентрации на расстоянии r от центра капли.

3) Радиальное распределение температуры в области AC и CB :

$$T_{AC(r)} = \frac{c_{A_0} + c_{B_0}}{c_{A_0}} \left[T_C - \frac{c_{B_0}}{c_{A_0} + c_{B_0}} T_A - \frac{r_A}{r} (T_C - T_A) \right] \quad (9),$$

$$T_{CB(r)} = T_0 + \frac{r_A}{rc_{B_0}} (c_{A_0} + c_{B_0}) (T_C - T_0) \quad (10)$$

4) Температура в зоне химической реакции:

Из уравнения (4) находим выражение для температуры в зоне химической реакции:

$$T_C = \frac{Q_p - \Delta H + c_p T_A + \frac{\lambda}{c_{B_0} D_A} T_0}{c_p + \frac{\lambda}{c_{B_0} D_A}} \quad (11)$$

где c_p - теплоемкость вещества капли.

Приравняв тепловой поток, направленный к капле, к количеству тепла, идущему на испарение и нагрев паров

$$-4\pi r_C^2 \lambda \frac{dT_A}{dr} \Big|_{r=r_C} = \Delta H \cdot 4\pi r_C^2 D_A \frac{dc}{dr} \Big|_{r=r_C} + c_p (T_C - T_A) \cdot 4\pi r_C^2 D_A \frac{dc}{dr} \Big|_{r=r_C}$$

получаем:

$$T_C = T_A + \frac{\Delta H}{\frac{\lambda}{c_{A_0} D_A} - c_p} \quad (12)$$

При необходимости тепловой эффект реакции находится из уравнения (11):

$$Q_p = \Delta H + c_p (T_C - T_A) + \frac{\lambda}{c_{B_0} D_A} (T_C - T_0) \quad (13)$$

5) Скорость испарения:

$$Q_p = \Delta H + c_p (T_C - T_A) + \frac{\lambda}{c_{B_0} D_A} (T_C - T_0) \quad (14)$$

Так как $j = -\frac{dm}{d\tau}$, где τ - время, а m - масса капли, то выражение (14) можно представить в виде:

$$\frac{dr_A}{d\tau} = -\frac{D_A}{\rho r_A}(c_{A_0} + c_{B_0}) \quad (15)$$

б) Система уравнений, описывающая процесс испарения.

Поскольку, уравнение (5) и (15) описывают изменение параметров одного процесса, то их можно объединить в систему уравнений.

$$\begin{cases} \frac{dr_A}{d\tau} = -\frac{D_A}{\rho r_A}(c_{A_0} + c_{B_0}) \\ \frac{r_A^2 \rho c_p}{3D_A(c_{A_0} + c_{B_0})} \frac{dT_A}{d\tau} = Q_p - \frac{\lambda}{c_{B_0} D_A}(T_C - T_0) - c_p(T_C - T_A) - \Delta H \end{cases} \quad (16)$$

Составленная система уравнений позволяет рассчитывать изменение радиуса и температуры капли с начала процесса испарения до его окончания.

Нахождение тепловых эффектов реакций

К сожалению, по литературным данным нам не удалось найти тепловые эффекты реакций, а также коэффициенты диффузии исследуемых хлоридов, поэтому эти величины были вычислены. Тепловые эффекты реакций вычислялись на основании уравнения (13) и измеренной в эксперименте температуры капли T_A . Найденные значения представлены на рис. 2.

Уменьшение расчетных значений тепловых эффектов реакции с повышением влажности связано с влиянием на тепловой баланс капли отвода тепла. Тепло отводится по ножкам термопары теплопроводностью и из зоны химической реакции конвекцией.

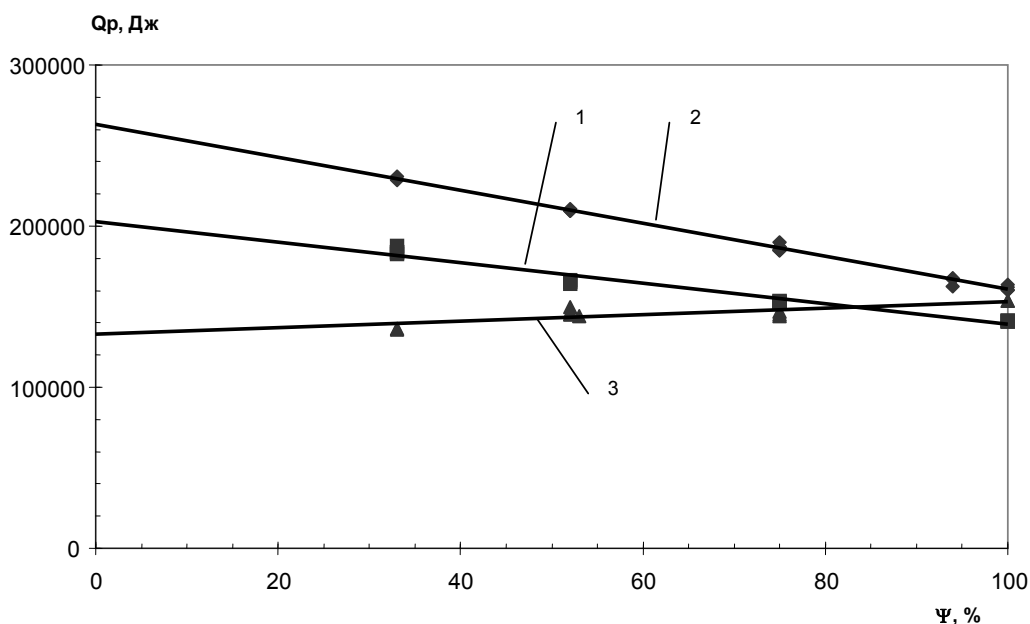


Рис. 2. Расчетные значения теплового эффекта реакции: 1– $TiCl_4$; 2– $SnCl_4$; 3– $SiCl_4$.

Возрастание расчетных значений тепловых эффектов реакции с повышением влажности для $SiCl_4$ связано с более полным протеканием гидролиза в зоне химической реакции, в результате чего и выделяется дополнительное тепло.

В нашем случае, с учётом вышесказанного, за тепловой эффект реакции следовало бы взять значения при нулевой влажности, однако мы не знаем будет ли экстраполяция к нулевой влажности линейной, поэтому за тепловой эффект реакции приняты значения при 33 % влажности.

Значения коэффициентов диффузии нами были вычислены ранее и опубликованы в работе [1]. Значения вычисленных величин приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Значения тепловых эффектов реакции и коэффициентов диффузии исследуемых хлоридов металлов

Вещество капли	$TiCl_4$	$SnCl_4$	$SiCl_4$
Тепловой эффект реакции (кДж/моль)	185	230	136
Коэффициент диффузии (m^2/c)	0.084	0.087	0.09

Расчетные значения распределения концентрации и температуры

Теперь, имея для расчётов все необходимые параметры, представляет интерес провести сопоставление расчётных значений распределения концентрации и температуры исследуемых жидкостей при одинаковых начальных условиях. Это сделано для капель радиусом 0.7 мм, которые испаряются при начальной температуре 20 °С и атмосферном давлении. Значения тепловых эффектов реакции взяты из табл. 2.

На рис. 3 – 5 приведены расчетные кривые распределения концентрации и температуры рассматриваемых хлоридов.

На рисунках пунктирной линией r_A показан начальный радиус капель, а точка перегиба соответствует радиусу зоны химической реакции. Видно, что у всех исследуемых тетрахлоридов металлов при увеличении концентрации паров компонента B в газовой фазе происходит уменьшение радиуса и увеличение температуры зоны химической реакции. При этом температура капли возрастает. Можно предположить, что при использовании другого химически активного компонента эти тенденции будут сохраняться.

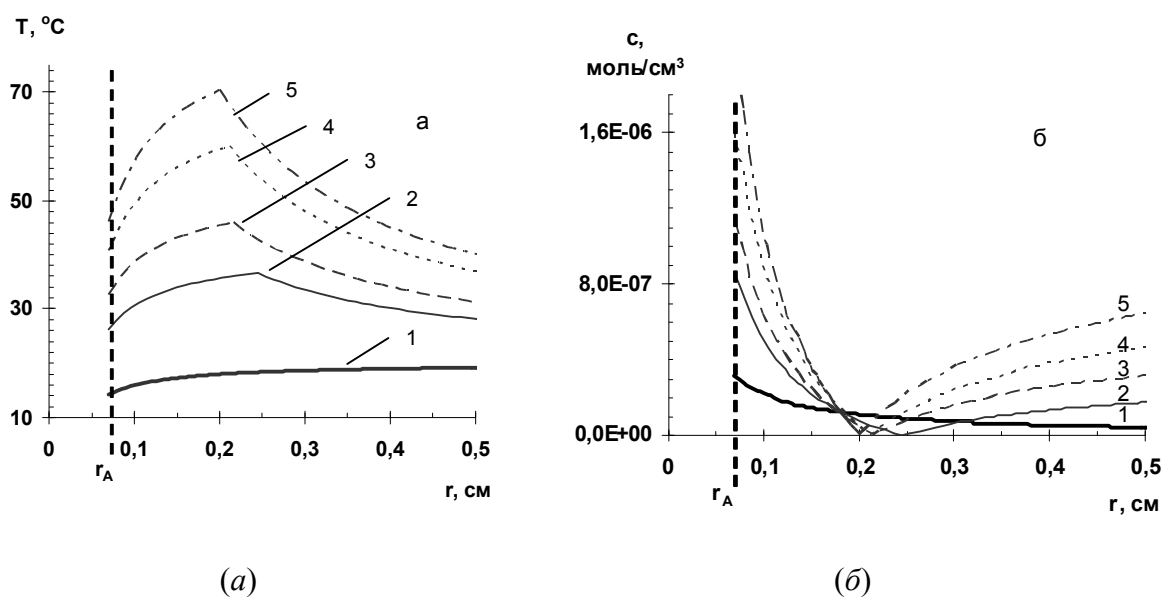


Рис. 3. Распределения температуры (а) и концентрации (б) паров при испарении капли $TiCl_4$ в атмосфере с влажностью: 1 – 0%; 2 – 33 %; 3 – 52 %; 4 – 75 %; 5 – 100 %.

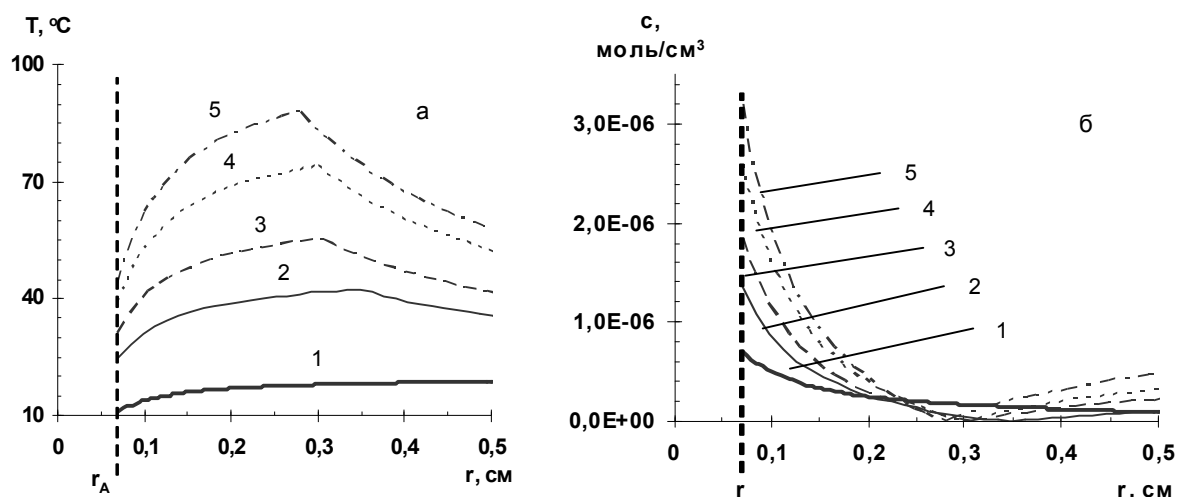


Рис. 4. Распределения температуры (а) и концентрации (б) паров при испарении капли $SnCl_4$ в атмосфере с влажностью: 1 – 0%; 2 – 33 %; 3 – 52 %; 4 – 75 %; 5 – 100 %.

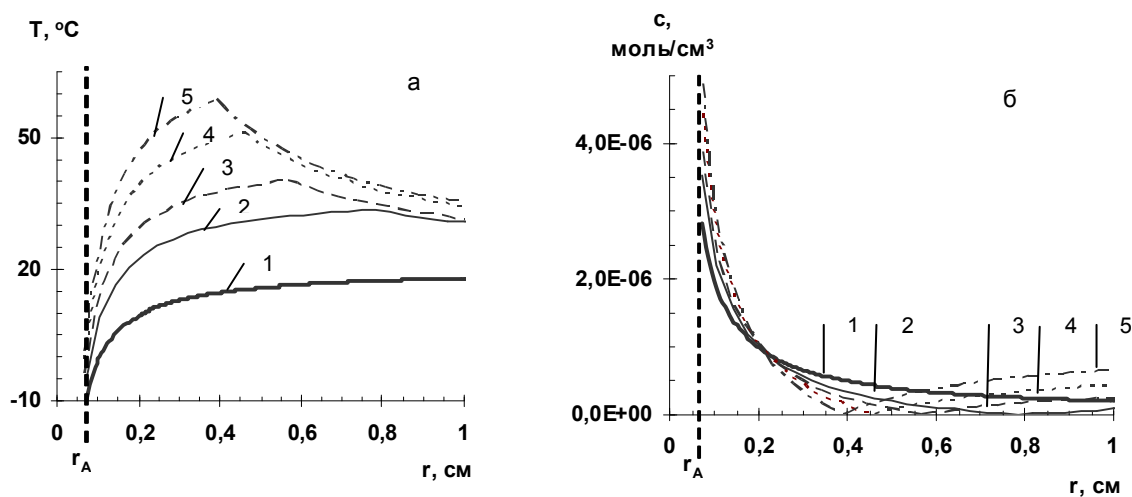


Рис. 5. Распределения температуры (а) и концентрации (б) паров при испарении капли $SiCl_4$ в атмосфере с влажностью 1 – 0%; 2 – 33 %; 3 – 52 %; 4 – 75 %; 5 – 100%.

Однако нужно учитывать, что температура в зоне химической реакции возрастает очень быстро, а это может привести к диссоциации продуктов реакции и прекращению роста температуры. Такие процессы, например, наблюдаются при горении металлов.

Увеличение концентрации паров компонента A в газовой фазе, которое мы наблюдаем при переходе от $TiCl_4$ к $SnCl_4$ и $SiCl_4$, приводит к

увеличению радиуса зоны химической реакции и уменьшению температуры капли. Однако при больших концентрациях тяжелые пары, оседая, будут создавать вокруг капли конвективный поток, и процесс испарения изменится, что также необходимо учитывать в расчётах.

Расчетные значения температур, радиусов и скоростей испарения при различных влажностях представлены на рис. 6.

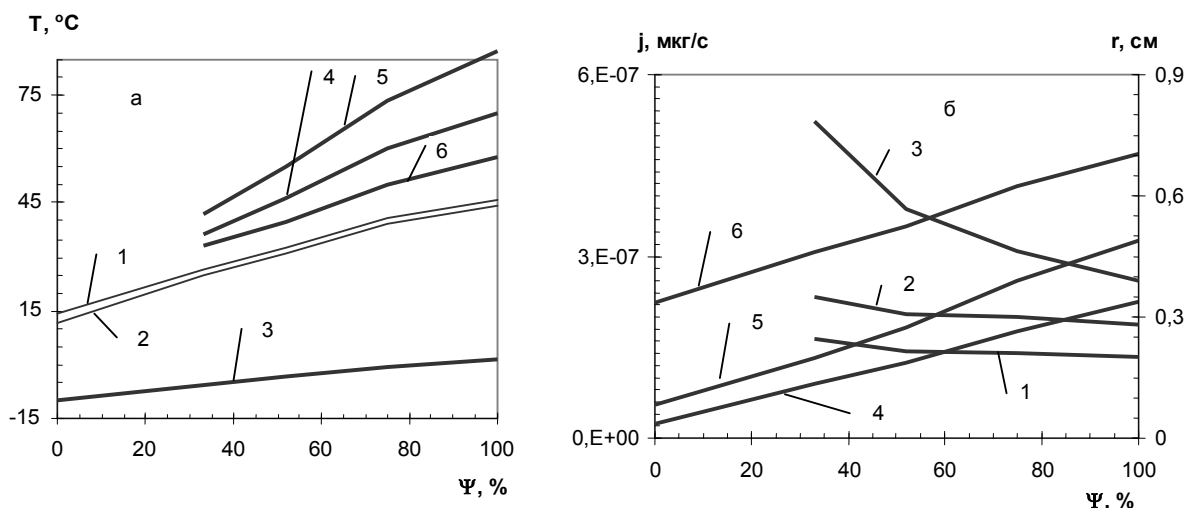


Рис. 6. а - сопоставление стационарных температур испарения капель:
 1 – $TiCl_4$; 2 – $SnCl_4$; 3 - $SiCl_4$ и температур в зоне химической реакции: 4 - $TiCl_4$; 5 –
 $SnCl_4$; 6 - $SiCl_4$ при различной влажности.
 б – сопоставление радиусов зон химической реакции при стационарном радиусе капли
 0.07 см для: 1 – $TiCl_4$; 2 – $SnCl_4$; 3 - $SiCl_4$ и скоростей испарения капель:
 4 - $TiCl_4$; 5 – $SnCl_4$; 6 - $SiCl_4$ при различной влажности.

На рисунках показана согласованность рассматриваемого процесса испарения. Так, при испарении $TiCl_4$, имеющего наименьшее парциальное давление паров и, следовательно, наименьший радиус химической реакции, рост температуры в зоне химической реакции вызывает больший рост температуры капли, чем у $SnCl_4$, несмотря на более низкий тепловой эффект реакции. Испарение же $SiCl_4$, имеющего наибольшее парциальное давление паров, рост температуры в зоне химической реакции вызывает наименьший рост температуры капли и наибольшее уменьшение радиуса зоны химической реакции. Это вытекает из динамического равновесия

температуры в зоне химической реакции и концентрации паров капли и воды, необходимого для соблюдения теплового баланса.

Сопоставление результатов расчётов с опытными данными

Сопоставим температуры капель полученных в эксперименте с их расчетными значениями при установившемся режиме испарения.

Из рис. 7 видно, что экспериментальные кривые $TiCl_4$ и $SnCl_4$ не совпадают с расчётными зависимостями, и даже пересекает их. Мы предполагаем, что это может быть связано с влиянием на тепловой баланс испаряющейся капли подвода или отвода тепла по ножкам термопары. При нулевой влажности, когда за счет испарения температура капли опускается ниже температуры окружающей среды, подходящее по ножкам термопары тепло повышает температуру капли. С другой стороны, при высокой влажности тепло от разогретой капли уходит по ножкам термопары в окружающую среду, понижая температуру капли, тем самым вызывая расхождение экспериментальных и расчётных значений.

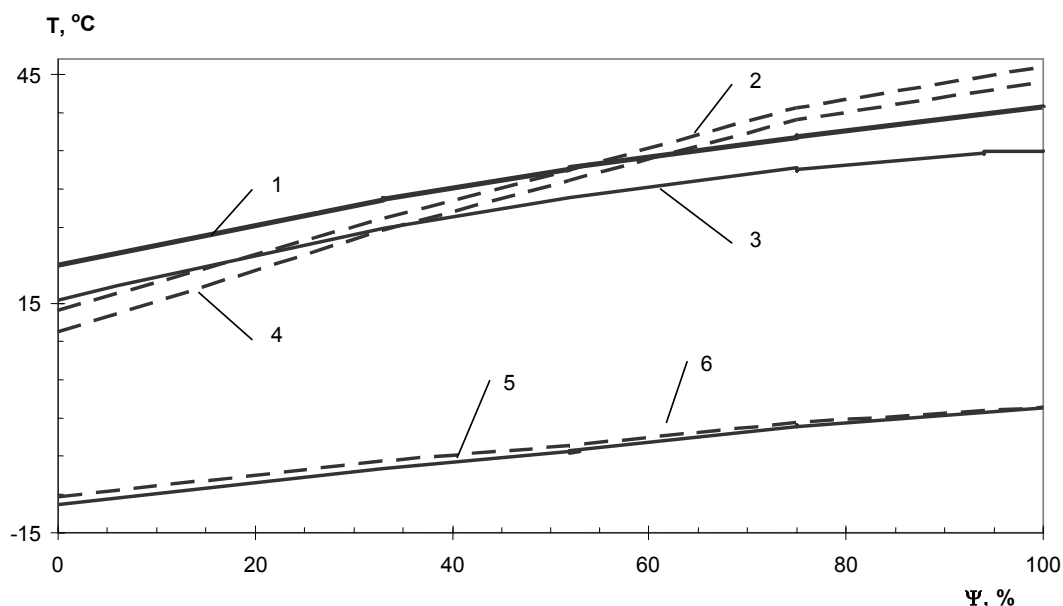


Рис. 7. Экспериментальные и расчетные температуры капель при квазистационарном режиме испарения: 1, 3, 5 — экспериментальные и 2, 4, 6 — расчетные температуры капель $TiCl_4$; $SnCl_4$; $SiCl_4$ соответственно.

Хорошее совпадение экспериментальных и расчётных значений для $SnCl_4$ связано с тем, что количество тепла, приходящее по ножкам термопары, по своему значению гораздо меньше количества теплоты, которое получает капля за счёт теплопередачи из окружающей среды. Всё определяется парциальным давлением паров жидкости: чем они выше, тем больше разность температур капли и окружающей среды, тем больше тепловой поток из окружающей среды к капле. В общем, влияние теплоты, приходящей по ножкам термопары, на тепловой баланс испаряющейся капли можно заметить на всех экспериментальных графиках. Оно выражается в том, что в процессе испарения капли её температура немного повышается. Это связано с тем, что по мере испарения, тепловой поток, приходящий к капле от зоны реакции, уменьшается, а количество тепла, пришедшего по ножкам термопары, остаётся постоянным. Постоянное смещение этого соотношения и приводит к постепенному увеличению температуры капли.

Для исследуемых хлоридов сопоставление проводится при температуре окружающей среды около 20 °С и двух относительных влажностях: 33 и 75 %. В расчете принимали начальную массу капли равной экспериментальной, а её температуру равной температуре окружающей среды. На рис. 8 - 10 приведены расчетные (пунктирные) и измеренные (сплошные) данные по изменению массы и температуры капли. Дополнительно на графиках даны расчетные изменения температуры в зоне химической реакции. На рис. 11 приводится динамика изменения радиуса капли и зоны химической реакции.

Для проведения сравнения поясним форму экспериментальных кривых. Поскольку, методика проведения эксперимента не позволяла фиксировать изменение массы и температуры капли с момента подвешивания, то начало экспериментальных кривых соответствует началу измерения (задержка составляла приблизительно 10 ÷ 20 с).

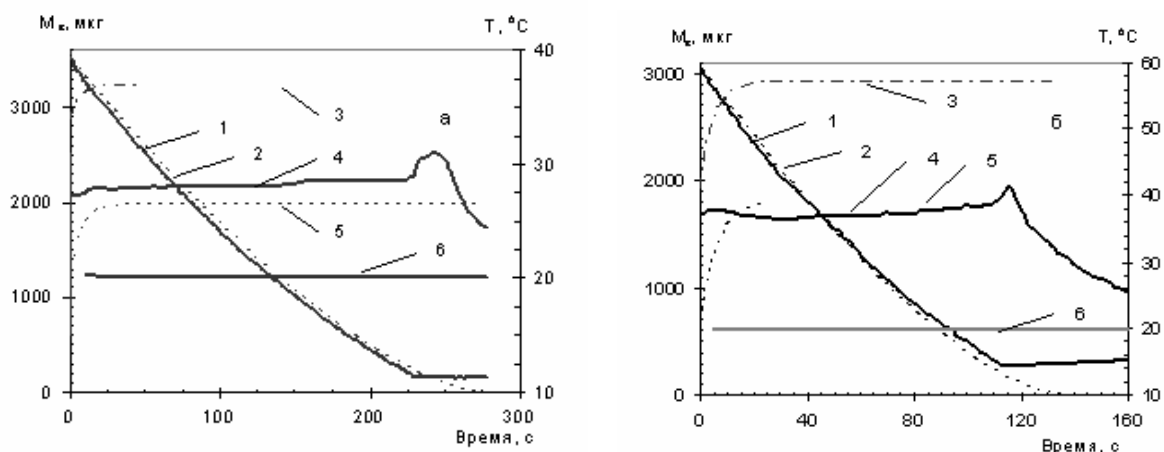


Рис. 8. Испарение капли $TiCl_4$ в атмосфере с влажностью: а - 33 %, б – 75%.
Начальный радиус капли: а - 0.0787 см, б - 0.075 см.

Обозначения к рис. 6 - 8. Кривые: 1 – экспериментально измеренное изменение массы; 2 – расчетное изменение массы; 3 – расчетная температура в зоне химической реакции; 4 - экспериментально измеренная температура капли; 5 - расчетная температура капли; 6 - температура окружающей среды.

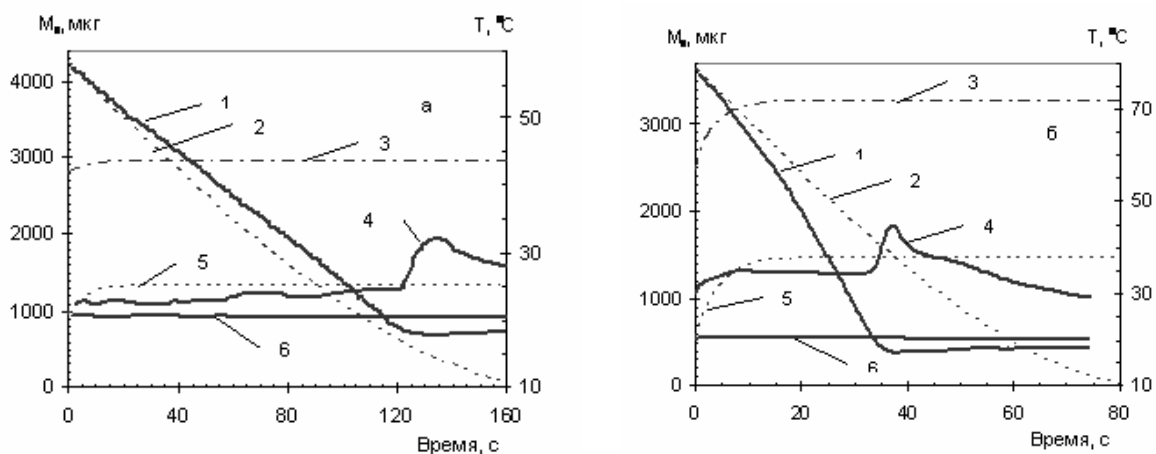


Рис. 9. Испарение капли $SnCl_4$ в атмосфере с влажностью:
а - 33 %, б – 75 %. Начальный радиус капли: а - 0.077 см, б - 0.073 см.

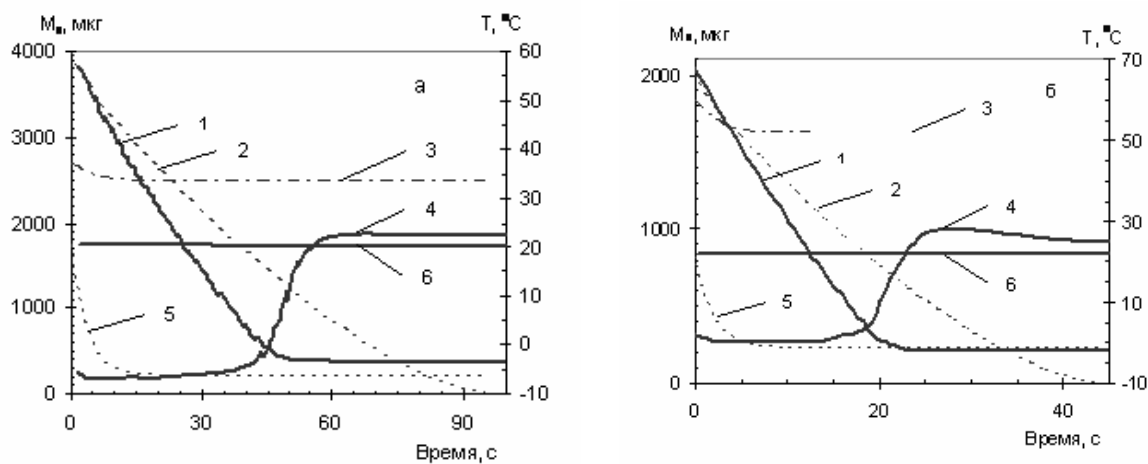


Рис. 10. Испарение капли $SiCl_4$ в атмосфере с влажностью: а - 33 %, б – 75 %.
Начальный радиус капли: а - 0.086 см, б - 0.069 см.

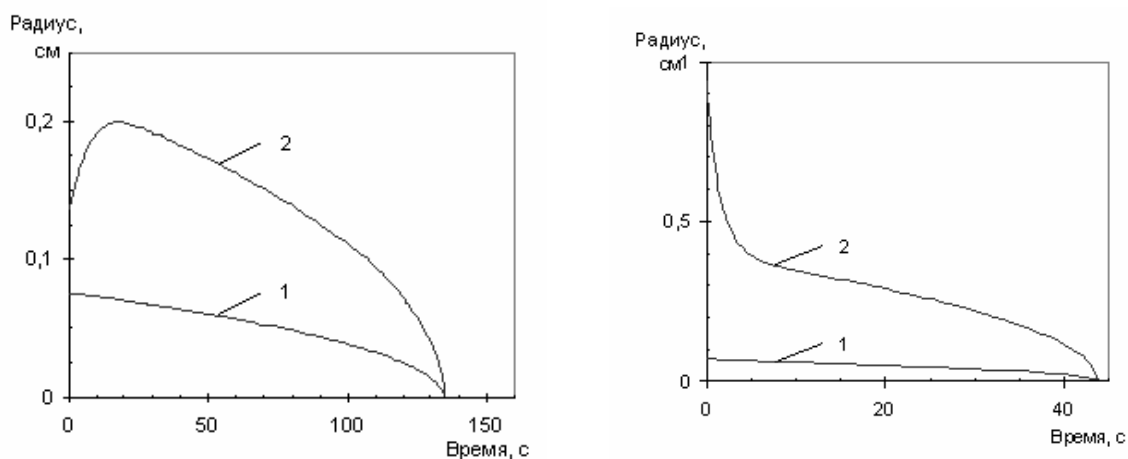


Рис. 11. Расчетные кривые, изменения радиуса капли - 1 и радиуса зоны химической реакции – 2. приведены для капель графики испарения которых даны на рис. 8б и 10б.

Небольшой рост температуры капли к концу испарения связан с возрастающим влиянием на тепловой баланс капли тепла, подходящего по ножкам термопары. Резкий рост температуры в конце процесса испарения связан с протеканием реакции на поверхности термопары. И завершается процесс падением (поднятием) температуры до температуры окружающей среды.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений изменений массы и температуры капли показало, что для $TiCl_4$ наблюдается

удовлетворительное совпадение во всем диапазоне рассмотренной влажности. При этом численные значения скорости испарения всегда получаются меньше экспериментальных. Для $SnCl_4$ совпадение происходит при значениях влажности меньше 33 %. При значениях влажности больше 33 % экспериментальная скорость испарения увеличивается и при 100 % влажности превышает расчетную в 2.5 раза. Для $SiCl_4$ экспериментальная скорость испарения в $1.5 \div 2$ раза выше расчетной (см. рис. 6б).

Мы предполагаем, что полученное несовпадение расчетных и экспериментальных данных связано с влиянием конвективного потока на скорость испарения капли. Действительно, при испарении в сухом воздухе, пары хлоридов металлов будут опускаться вниз за счет разности в плотности и температуре, создавая вокруг капли конвективный поток (см. рис. 12а). Степень развития его будет зависеть от поверхности и давления насыщенных паров вещества капли.

При наличии активного компонента в газовой фазе на границе конвективного потока образуется зона химической реакции. Тепло,

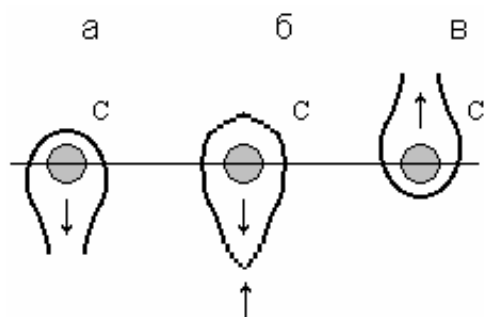


Рис. 12. Формирование конвективных процессов вокруг испаряющейся капли под воздействием силы тяжести и подъемной силы.

выделяющееся в результате реакции, создаёт подъемную силу, противоположенную силе тяжести паров. Если подъемная сила будет много меньше силы тяжести паров, то процесс испарения изменится мало. При равенстве подъемной силы и силы тяжести процесс испарения меняется. Поток опускающихся паров хлорида, окруженный зоной химической

реакции, вскоре останавливается, поскольку между силами устанавливается равновесие (см. рис. 12б). При этом сам поток менее интенсивен, поскольку часть пара расходуется на протекание реакции в

верхней полусфере капли. Очевидно, что скорость этого потока невысока и, следовательно, экспериментальная скорость испарения будет близка к расчетной. Если подъемная сила будет значительно выше силы тяжести, то вокруг капли создастся конвективный поток, направленный вверх (см. рис. 12*в*). Влияние его на скорость испарения будет зависеть от соотношения подъемной силы и силы тяжести. При этом, чем выше это отношение, тем лучше развит конвективный поток и тем меньше расчетные данные будут совпадать с экспериментальными.

Учитывая вышесказанное, мы видим, что для $TiCl_4$, парциальное давление паров которого небольшое, при испарении возникает наименее развитый конвективный поток, не оказывающий сильного влияния на скорость испарения. Как следствие, наблюдается хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных.

Литература

1. Нужный В.М., Курлянд В.М., Пачина Т.В., Минашкин В.М. Исследование скорости испарения и конденсационного роста капель в реагирующих газовых средах. Экспериментальная установка и исследование скорости испарения капель гидролизующихся соединений в атмосфере сухого воздуха / Колл. журнал. 1989. Т. 51. № 2. с. 163.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ АЭРОЗОЛЕЙ НА ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ КЛИМАТ

Гинзбург А.С.¹, Губанова Д.П.², Минашкин В.М.², Обвинцев Ю.И.²

¹*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 119017,
г. Москва, Пыжевский пер., 3*

²*ГНЦ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10*

Введение

Влияние аэрозолей на метеорологические процессы исследовалось ранее в рамках программы активных воздействий интенсивно проводившейся в мире в 70-80 годах XX столетия.

Известно, что в ряде метеорологических процессов часто появляются неустойчивые критические состояния, чувствительные к внешним вмешательствам. Получив относительно небольшое внешнее воздействие искусственного характера - "активное воздействие", естественный процесс может развиваться в желательном направлении. Такие воздействия потребовали проведения работ по созданию технологий регионального воздействия на атмосферу - рассеивания туманов на аэродромах и технологий вызывания осадков из градоопасных облаков [1].

В первом случае применяются баллоны со сжатым воздухом и компрессоры, образующие при адиабатическом расширении газа зоны с пониженной температурой, а для туманов в странах с теплым климатом - генераторы гигроскопических веществ [2]. Для воздействия на градоопасные облака применяются ракеты, снаряженные йодистым серебром и гигроскопичными веществами [3, 4].

Открытие антропогенного потепления климата, обусловленного ростом концентраций углекислого газа и ряда малых газовых

составляющих, и подписание Россией Киотского Протокола вновь пробудило интерес к работам, посвященным активным воздействиям на атмосферу.

В 90-е годы XX столетия были предложены довольно совершенные математические модели, позволяющие прогнозировать состояние климата на Земле в ближайшие десятилетия. Недавно группа ученых из Потсдама сравнила эти прогнозы с тем, что реально происходило за последние 15 лет [5]. Было показано, что хорошо предсказаны изменения содержания в атмосфере углекислого газа и приемлемо - ход температуры. Оба эти показателя возрастали в соответствии с ранее выявленными трендами. А вот средний уровень Мирового океана рос быстрее, чем ожидалось. С 1990-го по 2005 год он увеличился примерно на 4 см, а предсказывалось прибавление только на 2 см.

Авторы этой статьи считают, что некоторое расхождение между прогнозом модели и действительностью связано с тем, что углекислый газ на самом деле оказывает более сильный эффект на температуру, чем ожидалось. Другое возможное объяснение - следствие недооценки охлаждающего воздействия аэрозолей, которые могут иметь как естественное происхождение, так и быть образованными в результате хозяйственной деятельности человека.

Особенно сильное глобальное воздействие на атмосферу оказывали и оказывают вулканические извержения, воздушные и наземные ядерные взрывы.

Масштабные исследования влияния аэрозолей на климат были проведены в 80 годах XX века по программе климатических последствий ядерной войны “ядерная зима”. В результате авторами данной работы были исследованы оптические константы сажевых аэрозолей, которые могли бы возникнуть в результате ядерного конфликта, и сделана оценка оптических толщин аэрозольных слоев которые могли бы вызвать

глобальное похолодание (ядерную зиму) [6]. Кроме того были исследованы оптические характеристики и кислотных аэрозолей.

На основе расчетов М.И. Будыко, показавшего в 1974 году, что увеличение массы стратосферных аэрозолей примерно на 10^{-6} г/см³ понижает среднюю температуру нижнего слоя атмосферы на 1.5 градуса [7], Ю.А. Израэль предложил метод массированного воздействия на климат путем введения в атмосферу 200 тысяч тонн распыленной серы, которая при взаимодействии с влагой воздуха образует сернокислотные аэрозольные частицы [8]. Поэтому при массе аэрозолей 600 тысяч тонн температура понизится на несколько десятых градуса. Такой массовый выброс в стратосферу позволил бы, по мысли авторов предложения, предотвратить глобальное потепление.

С учетом того, что подобный эксперимент по доставке в стратосферу и сжиганию в ней больших количеств серы или содержащего серу топлива с последующим гидролизом SO₃ водой (вариант 1) или испарением и гидролизом хлорсульфоновой кислоты (вариант 2) можно осуществить имеющимися техническими средствами, нами были промоделированы последствия такого эксперимента.

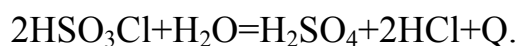
Испарение и гидролиз капель хлорсульфоновой кислоты

Оценка размеров и температуры аэрозольных частиц

В отсутствии влаги в атмосфере процесс идет по пути:



а в присутствии влаги:



Испарение в сухом воздухе (без реакции)

При испарении в сухом воздухе хлорсульфоновая кислота (ХСК) ничем не отличается от других жидкостей, поэтому процесс описывается известными уравнениями [9]. Подробная формалистика была описана в предыдущей работе, рассматривающей вопросы моделирования капель в атмосфере, содержащей химически активные добавки.

Изменение радиуса и температуры капли с начала процесса испарения до его окончания описывается уравнениями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dr_A}{d\tau} = -\frac{D_A}{\rho r_A} c_A \\ \frac{r_A^2 \rho c_{pl}}{3D_A c_A} \frac{dT_A}{d\tau} = -\frac{\lambda}{D_A} (T_0 - T_A) - c_{pg} (T_0 - T_A) - \Delta H. \end{array} \right. \quad (1)$$

Решение этой системы с начальными условиями: температура капли 20 °С, радиус капли 0.5 мм, температура окружающей среды 20 °С, представлено в графическом виде на рис. 1.

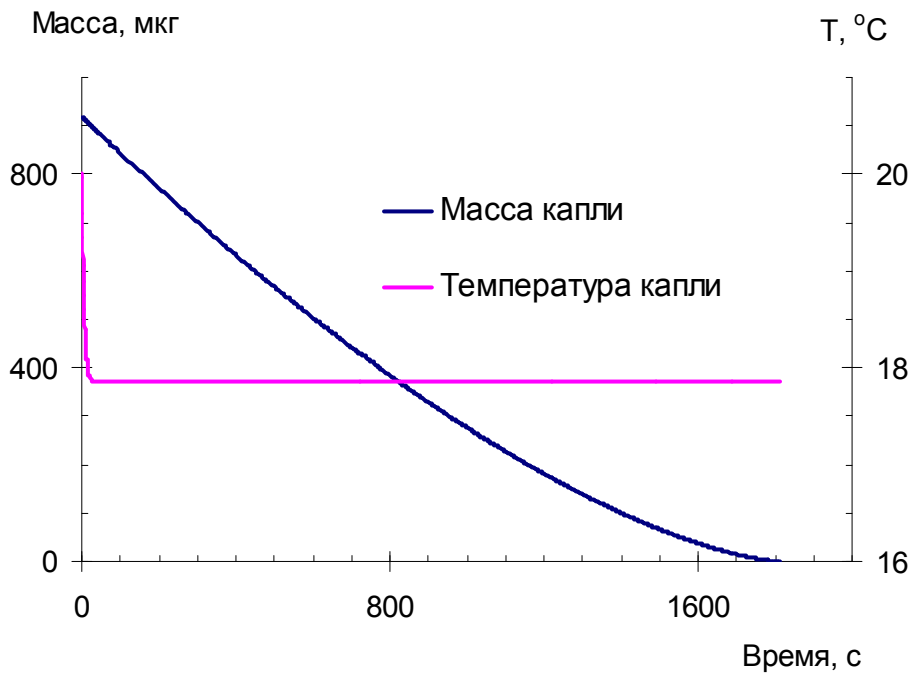


Рис. 1. Изменение массы капли ХСК и её температуры в процессе испарения.

Время выхода на стационарный режим испарения показано на рис. 2.

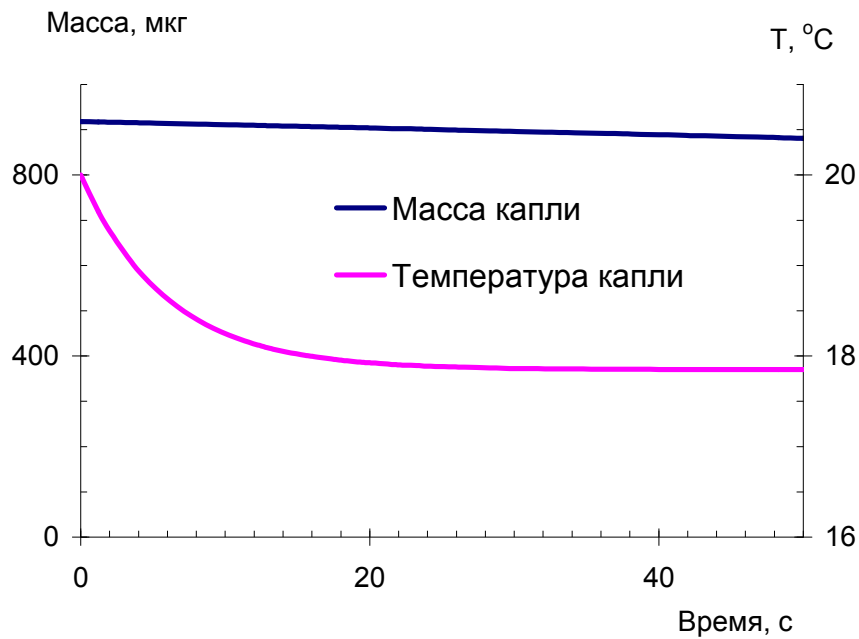


Рис. 2. Время выхода на стационарный режим испарения.

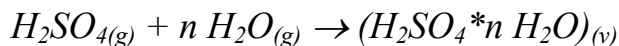
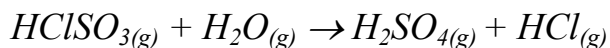
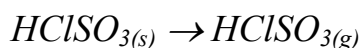
Взаимодействие капли ХСК с парами воды

При взаимодействии капли ХСК с парами воды возможны, как минимум, два варианта.

1. $0 < c_B < c_A$

Если сферическая капля ХСК, помещается в неограниченную среду газа, содержащего пары воды, то при условии, что в начальный момент времени концентрация паров ХСК у поверхности капли больше чем концентрация паров воды, реакция будет протекать в газовой фазе. При этом вокруг капли формируется зона химической реакции S . Тепло, выделяющееся в зоне химической реакции, идёт на формирование двух тепловых потоков: к капле и в окружающую среду. Тепловой поток, идущий к капле, расходуется на испарение вещества капли и разогрев паров от температуры капли T_A до температуры зоны химической реакции T_C .

При этом протекают следующие реакции.



Изменение радиуса и температуры капли с начала процесса испарения до его окончания описывается системой уравнений.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dr_A}{d\tau} = -\frac{D_A}{\rho r_A} (c_{A_0} + c_{B_0}) \quad (2) \\ \frac{r_A^2 \rho c_p}{3D_A (c_{A_0} + c_{B_0})} \frac{dT_A}{d\tau} = Q_p - \frac{\lambda}{c_{B_0} D_A} (T_C - T_0) - c_p (T_C - T_A) - \Delta H \quad (3) \end{array} \right.$$

Уравнения были решены при следующих начальных условиях: радиус капли 0.5 мм, температура капли 20 °С, температура окружающей среды 20 °С, влажность 10 %. При температуре капли 20 °С концентрация паров у поверхности капли составляет 1.87×10^{-7} моль/см³, а концентрация паров воды 1.05×10^{-7} моль/см³. Результаты расчётов представлены в графическом виде на рис. 3.

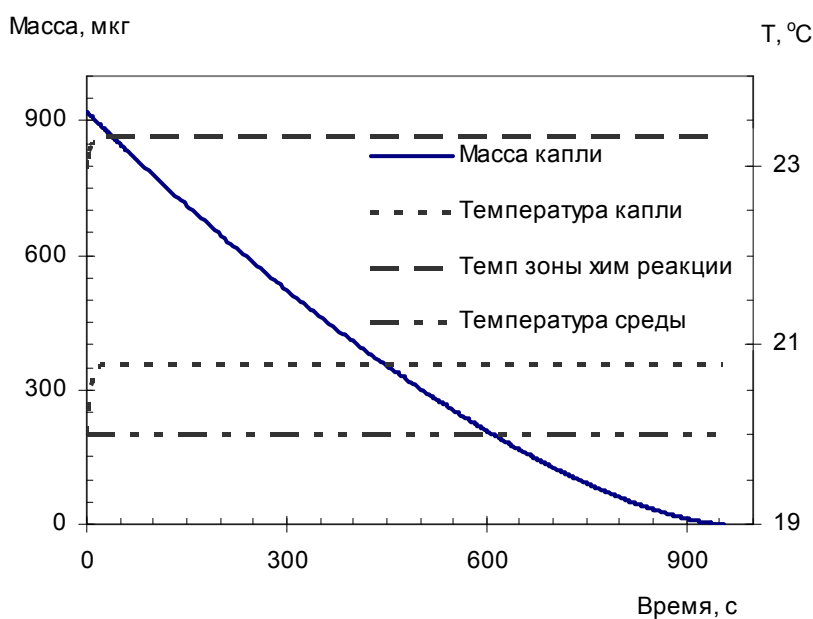


Рис. 3. Изменение массы и температуры капли, а также температуры в зоне химической реакции, при испарении в среде с влажностью 10 %.

Как видно из графика, что уже при влажности среды 10 % время испарения капли уменьшается вдвое. На рис. 4 показаны изменения радиуса капли и зоны химической реакции.

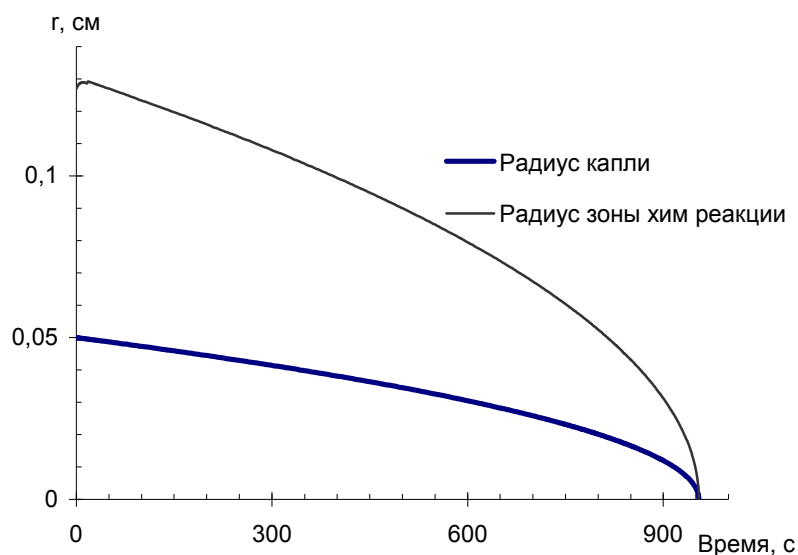
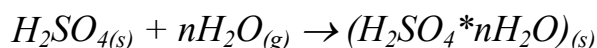


Рис. 4. Изменение радиуса капли и зоны химической реакции при испарении в среде с влажностью 10 %.

2. $c_A \leq c_B$

Капля в начальный момент времени при температуре T_0 имеет соответствующее парциальное давление паров. При помещении в среду, содержащую химически активный компонент, с концентрацией c_B равной или немного большей c_A реакция сразу начинается в приповерхностной области и на поверхности капли. Температура капли в силу своей инерционности возрастает не сразу, а парциальное давление не устанавливается в соответствии с температурой, поскольку часть поверхности занята продуктами реакции. При этом надо учитывать, что поверхность капли обновляется за счёт отвода продуктов реакции внутрь капли, а на профиль концентрации паров воды оказывает влияние выделяющийся в ходе реакции хлористый водород. Однако диффузия в

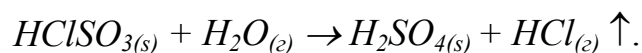
жидкости в тысячу раз более медленная, чем в газе, поэтому зона химической реакции быстро сомкнётся на поверхности, а потом перейдёт внутрь капли. Для описания такого процесса необходимо рассматривать диффузию паров воды к поверхности с учётом изменения её концентрации и конвекции внутри капли.



В данном случае получение математически точного ответа представляется затруднительным.

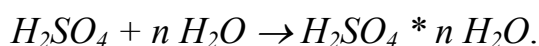
Анализ экспериментальных данных показывает, что процесс состоит из двух стадий.

А) Диффузия паров воды к капле и гидролиз хлорсульфоновой кислоты:



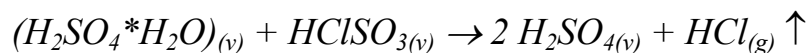
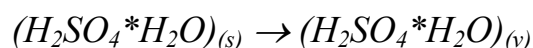
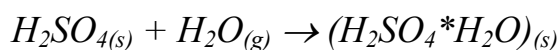
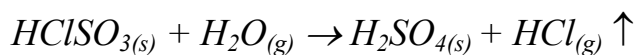
На этой стадии масса капли уменьшается из-за разности молекулярных весов хлористого водорода и воды. В конце первой стадии из ХСК образуется серная кислота;

Б) Диффузия паров воды к капле серной кислоты и её разбавление до достижения термодинамического равновесия с окружающей средой:



Рассмотрим эти стадии более подробно.

А) Диффузия паров воды к капле и гидролиз хлорсульфоновой кислоты. Пары воды взаимодействуют с ХСК на поверхности капли, образуя слой серной кислоты, которая поглощает пришедшую к поверхности воду, образуя гидраты. Гидраты серной кислоты начинают диффузию внутрь капли и реагируют с молекулами ХСК. Образующийся в результате реакции хлористый водород переходит в газовую фазу, поскольку он очень плохо растворяется в серной и хлорсульфоновой кислоте. При этом протекают следующие реакции:



Лимитирующей стадией данного процесса является диффузия гидратов серной кислоты внутрь капли.

Возможно, при влажности 20 ÷ 40 % (при температуре окружающей среды 20 °С) существует равновесие между диффузией паров к поверхности капли и отводом продуктов реакции. Сопоставление экспериментальных и расчетных результатов по времени протекания первой стадии показывает их хорошее совпадение при данных условиях (см. рис.5). На рисунке приводится кривая, отображающая отношение экспериментального времени протекания первой стадии к расчётному. Расчётное время получено в предположении, что реакция протекает на поверхности капли. Совпадение экспериментального и расчётного времени является косвенным доказательством существования такого равновесия.

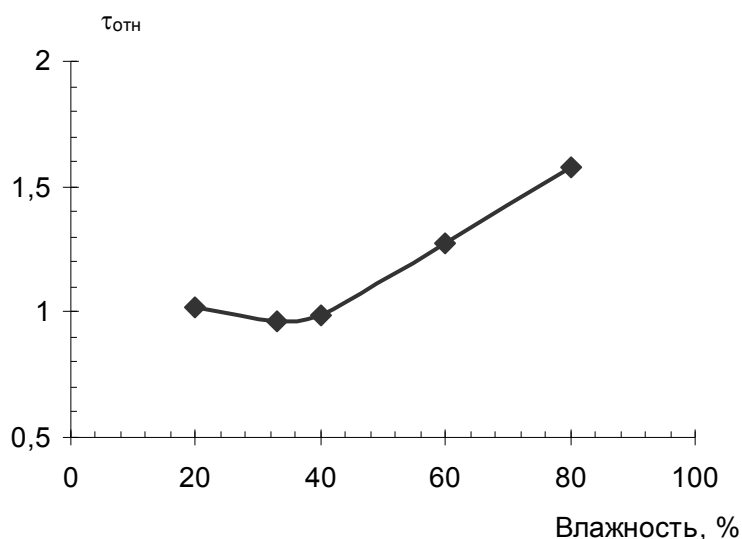
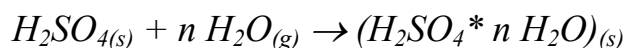


Рис. 5. Отношение экспериментального времени протекания первой стадии к расчётному в предположении, что реакция протекает на поверхности капли. Увеличение значений после 40 % влажности говорит о том, что лимитирующей стадией процесса становится диффузия продуктов реакции внутри капли.

Б) Диффузия паров воды к капле серной кислоты и её разбавление. Сферическая капля H_2SO_4 (вещества С) находится в неограниченной среде газа, содержащего пары воды В. Диффузия паров воды к капле приводит к разбавлению кислоты до установления термодинамического равновесия с окружающей средой. Начальная температура капли равна температуре установившейся в результате протекания первой стадии процесса. Отвод тепла от капли осуществляется теплопроводностью.

Несмотря на простоту постановки задачи, однозначное решение получить сложно, поскольку протекает несколько процессов: диффузия паров воды к капле и их абсорбция на поверхности, образование на поверхности гидратов серной кислоты, диффузия их внутрь капли, встречная диффузия более концентрированного раствора. Процесс разбавления продолжается до достижения термодинамического равновесия с окружающей средой:



где n – число молекул воды в гидрате на поверхности капли; а m – число молекул воды в гидрате внутри капли; p - число молекул воды в гидрате в зоне реакции.

Процесс перехода вещества из газовой фазы с концентрацией y в жидкую фазу с концентрацией x описывается уравнениями:

$$DF \frac{dc_B}{dr} = \beta_y F (y - y_s) \quad (4)$$

$$DF \frac{dc_B}{dr} = \beta_x F (x_s - x) \quad (5)$$

где y_s и x_s концентрация вещества на границе раздела фаз; β_y и β_x – коэффициенты массоотдачи для газовой и жидкой фазы (в мольных долях); F – поверхность раздела фаз.

Система уравнений (4), (5) позволяет рассчитывать изменение радиуса и температуры капли с начала процесса испарения до его окончания. А так как, расчет проводится для равновесного процесса, установившаяся температура капель будет равна температуре газовой среды и температуре первичных аэрозольных нанокластеров.

Расчет дисперсного и химического состава аэрозолей

Имеем y_{iA} – концентрация кластеров, содержащих G_{iA} молекул компонента A . Тогда изменения концентрации и размера этих кластеров будут описываться уравнениями (уравнения капельно - коагуляционного процесса) [10]:

$$\frac{dG_{iA}}{d\Theta} = -k_{uA}(G_{iA}), \quad (6)$$

$$\frac{dy_{iA}}{d\Theta} = -\sum k_{ijAB} y_{iA} y_{jB}, \quad (7)$$

где k_{uA} - коэффициент кинетики испарения частиц компонента A , k_{ijAB} - коэффициент кинетики коагуляции частиц G_{iA} и G_{jB} . Изменение состава частиц i -й группы по капельно-абсорбционному механизму будет решением уравнения:

$$\frac{d_B G_{iA}}{d\Theta} = k_{aB} ({}_B G_{iA}) x_B, \quad (8)$$

где k_{aB} - коэффициент кинетики абсорбции молекул компонента B из паровой фазы на частицах, содержащих G_{iA} молекул компонента A и B_{iA} молекул компонента B , x_B – концентрация молекул компонента B в газовой фазе. Интегрирование уравнений вида (8) должно продолжаться до достижения условия $B_{iA} = G_{iA}$, т.е. до полного превращения частицы в соединение AB .

Уравнение (8) предполагает, что кинетика абсорбции определяется

только диффузионным сопротивлением газовой среды, что оправдано, поскольку абсорбция сопровождается быстрым химическим связыванием второго компонента.

Изменение состава за счет коагуляции с частицами конденсационного происхождения описывается уравнением:

$$\frac{d_{AB}G_{iA}}{dt} = \sum_{g=1}^{\infty} k_{Gg}x_g, \quad (9)$$

где x_g - концентрация образованных конденсацией из газовой фазы частиц, содержащих g молекул продукта AB . При интегрировании уравнений (6) – (9) следует учитывать, что кинетические коэффициенты зависят от геометрического размера частиц, т.е. от суммы масс всех трех ее составляющих компонентов

Изменение содержания обоих компонентов в паровой фазе описывается уравнением:

$$\frac{dx_A}{d\theta} = \sum_{i=1}^{i_0} k_{uA}(G_{iA})y_i - \sum_{j=1}^{j_0} k_{aA}(G_{jA}G_{jB})y_j - k_{AB}x_Ax_B, \quad (10)$$

где k_{AB} - константа скорости газовой реакции, i_0 и j_0 – числа фракций капель компонентов A и B соответственно.

Образование дисперсной фазы за счет конденсации продукта газофазной реакции описывается уравнением нуклеации быстрого типа

$$\frac{dx}{d\theta} = k_{AB}x_Ax_B - x_1 \left(\sum_{g=1}^{\infty} \gamma(g)k_{ij}x_j - \sum_{i,j}^{i_0,j_0} k_{lij}y_{AB} \right), \quad (11)$$

где x_l – концентрация молекул продукта AB , x_g – концентрация частиц, содержащих g молекул продукта AB , k_{ij} – константа кинетики столкновений молекул AB с частицами размера g , а k_{lij} – с частицами размеров ${}_B G_{ia}$ или ${}_A G_{jB}$; $\gamma(g)$ - эффективность столкновений.

$$\frac{dx_d}{d\theta} = \sum_{k+l=g} \psi \gamma(k,l) k_{kl} x_k x_l - x_g \left(\sum_{m=1}^{\infty} k_{mg} x_m + \sum k_{gG} y_{Gi} \right), \quad (12)$$

где ψ - фактор симметрии, $\psi = 1/2$ при $k = 1$ и $\psi = 1$ при $k \neq 1$

Всё это позволило нам рассчитать размер частиц серной кислоты на данных высотах и оценить изменение температуры земной поверхности.

Первоначально определялись параметры элементарного рассеивающего объема сернокислотных аэрозолей по формулам теории Ми. Для этого использовались полученные авторами данные для комплексного показателя преломления. Для аэрозолей со средним радиусом 0.2 мкм и параметром дисперсии 0.1 коэффициент экстинкции на длине волны 0.55 мкм, также как и для сажи, при вероятности выживания кванта 0.75 не превышал 5.5 м²/г, а в диапазоне 7 ÷ 12 мкм - 0.5 м²/г при вероятности выживания 0.25.

Расчет переноса излучения проводился с использованием малоуглового приближения и асимптотической теории многократного рассеяния. Эти два метода использовались потому, что малоугловое приближение пригодно для световых полей с сильно вытянутой индикатрисой и заметным поглощением, а асимптотическая теория применима для сред с большой оптической толщиной и слабым поглощением. Рассчитывались интегральные коэффициенты пропускания и отражения излучения от аэрозольного слоя по программе, описанной в [11]. Оценка изменения альбедо и радиационного баланса проводилась на основе радиационно - конвективной модели, использующей приближение Эддингтона для описания переноса видимого и ближнего ИК излучения. Для описания переноса в дальней ИК области использовалась формула, получаемая из малоуглового приближения.

Оценка изменения температуры, сделанная по модели Г.С.Голицына и А.С. Гинзбурга [12], в которой рассматривается баланс только

радиационных видов энергии на верхней границе атмосферы, показывает, что, так как основное поглощение происходит в верхних слоях, то там же и происходит основной разогрев. Но, поскольку все излучение осуществляется в слоях, где водяного пара мало и парникового эффекта нет, эти слои могут разогреться лишь до некоторой эффективной температуры -180 . Расчеты показали, что для температуры поверхности суши и атмосферы над сушей и океаном в случае, когда альбеда всей системы растет по закону $Az = 0.1 + 0.2 \cdot \exp(-1.66 \cdot z)$, где z - оптическая толщина. В этом случае при $A = 0.1$ предельная температура равна 271.5 К.

Следует отметить и тот факт, что экзотермические процессы гидролиза серного ангидрида и конденсации частиц серной кислоты, сопровождающиеся выделением $4 \cdot 10^6$ - $8 \cdot 10^6$ ккал тепла и нагревом аэрозольного слоя солнечным излучением, по-видимому, приведут, как показано в работе [12], к меридиональному выносу аэрозолей в верхние слои стратосферы, уменьшению влагосодержания, разбалансу конвективного переноса в стратосфере и возможному увеличению полярных стратосферных облаков, так как в атмосфере образуется одна большая ячейка Хедли с опускающейся ветвью в Южном полушарии.

Это не только не уменьшит приближение глобального потепления, но и приведет к дополнительной гибели озона на ПСО, так как коэффициент аккомодации озона на таких частицах составляет порядка 10^{-2} [13]. Количество озона изменится на не менее чем 6000 т, необходимое для того, чтобы увеличить поток ультрафиолетового и теплового излучения на достаточно большую величину и возможно полностью изменить тепловой баланс планеты. К этим же выводам пришли и исследователи длительной вулканогенной депрессии стратосферного озона после извержения вулкана Пинатубо. За основу ими был принят анализ многовекового поведения атмосферы, реконструированного из дендрохронологических данных [14, 15].

Заключение

В заключение нам бы хотелось перефразировать вывод основоположников науки об атмосфере: «получив относительно небольшое внешнее воздействие искусственного характера - "активное воздействие", естественный процесс может развиваться как в желательном, так и в нежелательном направлении». Хотелось бы, чтобы далеко идущие предложения обосновывались результатами экспериментальных работ, которые, несомненно, необходимо проводить.

Литература

1. Т.Бержерон. Физика облаков и осадков. В сб. Физика образования облаков. -М.: Иностранная литература, 1951.
2. В. Шеффер. Образование ледяных кристаллов в лаборатории и атмосфере. В сб. Физика образования облаков. -М.: Иностранная литература, 1951.
3. И. Ленгмюр. Искусственное осаждение кучевых облаков при температуре выше 0°C в результате цепного процесса. В сб. Физика образования облаков. -М.: Иностранная литература, 1951.
4. Orawa J., Omoto J. Preliminary results of experiments using seeding rockets with combustible shells. 1974, WMO, Geneva, Sw.
5. S.Ramstrorf, A.Cazennave et.al. Recent Climate Observations Compared to Projections. // Science, 2007, Vol. 316, P.709.
6. Andronova A.V., Minashkin V.M et al. Investigation of aerosol formation upon combustion of various materials and their optical properties. // In combustion of Heterogeneous and Gaseous Systems, P.124-127. In Materials of the Eighth All-Union Symposium on Combustion and Explosion. Chemical Physics Institute of Academy of Sciences.

7. Будыко М.И. Изменение климата. -Л.: Гидрометеиздат, 1974, 280с.
8. Ю.А. Израэль и др. // Метеорология и гидрология, 2005. №10, С. 5-99.
9. Ю.И. Обвинцев, В.М. Минашкин, В.М. Нужный. Экспериментальное и теоретическое моделирование испарения капель в атмосфере содержащей химически активные добавки. - В кн.: Труды 6-х юбилейных Петряновских чтений. -М.: Издательство МГИУ, 2007.
10. И.В. Петрянов А.Г. Суругин В.М. Минашкин И.В. Чистякова Т.Г. Успенко О механизме образования хемоконденсационных аэрозолей. // Коллоидный журнал, 1984, Т.46, №1, с.63-68
11. Иванов А.П., Зега Э.П., Кацев И.Л. Оптика рассеивающих сред. -Минск. 1985.
12. Гинзбург А.С., Голицын Г.С., Демченко П.Ф. Развитие сильно замутненного конвективного пограничного слоя. – В кн.: Труды 9-й Международной конференции по физике облаков. Т. 4. -Л.: Гидрометеиздат, 1985.
13. Гостинцев Ю.А. и др. Турбулентный термик в стратифицированной атмосфере. - М., Препринт Института Химической Физики.
14. Зуев В.В. Лидарный контроль атмосферы. – Новосибирск: Наука, 2004.
15. Зуев В.В., Бондаренко С.Л. Исследование озоносферы методами дендрохронологии. – Томск: ИОА СО РАН, 2007.

НОВЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Борисов Н.Б.

ГНЦ РФ «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», 105064, г. Москва, ул. Воронцово поле, 10

В последние годы появилось много новых способов очистки воздуха от вредных веществ, основанных на процессах улавливания аэрозолей и сорбции вредных газообразных веществ. Наиболее успешно решаются задачи очистки воздуха от вредных аэрозолей, основанных на фильтрации воздуха. Разработаны совершенные фильтрующие материалы, в частности фильтры Петрянова (ФП), и на их основе - различные фильтрующие устройства. Однако до полного решения всех этих вопросов еще далеко.

Одно из новых направлений решения этой задачи - создание способов преобразования вредных газообразных веществ в твердые аэрозоли и затем улавливания их фильтрами. Это позволяет производить очистку воздуха более эффективно и исключить дорогостоящие сорбционные методы очистки, поскольку улавливание аэрозолей является более разработанным и надежным способом.

В этом направлении еще при жизни И.В. Петрянова в лаборатории аэрозолей НИФХИ им. Л.Я. Карпова были проведены исследования по очистке воздушных выбросов от радиоактивного газообразного йода (радийода) и паров ртути.

Основная трудность очистки воздуха от радиоактивного йода, как известно, состоит в том, что он может находиться в воздухе в виде нескольких газообразных соединений, среди которых присутствуют так называемые трудносорбируемые соединения, эффективность улавливания которых крайне низкая. Для улавливания газообразного радиойода разработаны специальные сорбенты и сорбционно-фильтрующие

материалы, в частности материал СФМ–И и лента СФЛ-2И-50 из фильтрующего материала ФП с угольным сорбентом, импрегнированным азотнокислым серебром. Однако эффективность этих материалов во влажном воздухе по трудносорбируемой фракции радиойода не превышает 90 % [1, 2].

Опыты по преобразованию газообразной фракции радиойода проводили в лаборатории путем воздействия аммиаком в потоке воздуха и еще дополнительно (для разрушения летучих соединений радиойода) путем облучения ультрафиолетом и ионизации коронным разрядом. Источником служил лабораторный генератор газообразного ^{131}I , выделяющегося из водного раствора Na^{131}I (без носителя) при окислении раствора бихроматом натрия в серной кислоте. Газообразный ^{131}I на выходе из источника разбавляли чистым воздухом и очищали от аэрозольных частиц и паров молекулярного радиойода сорбирующим фильтром АФАС-И. В результате в газовом потоке оставалась трудносорбируемая фракция ^{131}I . Этот поток направляли в камеру, где смешивали с аммиаком и, как уже отмечалось, облучали ртутной лампой ДРТ-250 и ионизировали электродуговым разрядником с платиновыми электродами. На выходе из камеры в газовом потоке с помощью пакета аналитических и сорбционных фильтров определяли содержание аэрозолей и газообразной фракции радиойода, а также эффективность улавливания газообразного радиойода лентой СФЛ-2И-50 [3, 4].

Концентрацию аммиака измеряли газоанализатором типа УГ-2. Она изменялась от 0.12 до 25 г/м³.

Результаты исследования представлены в табл. 1. Анализ результатов показывает, что доля аэрозолей при смешении трудносорбируемой фракции ^{131}I с аммиаком без ионизации увеличивается в 2.2 раза, а при облучении ультрафиолетом – в 24.2 раза и при ионизации электродуговым

разрядником – в 33.9 раза. При изменении концентрации аммиака от 0.12 до 21 г/м³ содержание аэрозолей ¹³¹I возросло примерно в три раза.

Таблица 1.

№	Состав газовой смеси	Концентрация йода-131. нКи/л	Воздействие на газовую среду		Результаты	
			Ультрафиолетом	Электродуговым разрядом	Доля аэрозолей, %	Увеличение аэрозолей (разы)
1	Воздух с ¹³¹ I	0.35 ± 0.08	Нет	Нет	2.7 ± 1.4	-
	Воздух с ¹³¹ I	0.75 ± 0.39	Да	Ионизация	20 ± 14.5	7.4
	Воздух с ¹³¹ I и с аммиаком	0.19 ± 0.09	Да	Ионизация	37.6 ± 6.0	13.9
2	Воздух с ¹³¹ I	0.7 ± 0.2	Нет	Нет	0.5 ± 0.1	-
	Воздух с ¹³¹ I и с аммиаком	0.45 ± 0.19	Нет	Нет	1.1 ± 0.2	2.2
	Воздух с ¹³¹ I и с аммиаком	0.45 ± 0.07	Да	Нет	12.1 ± 0.9	24.2
3	Воздух с ¹³¹ I	1.34 ± 0.77	Нет	Нет	0.9 ± 0.8	-
	Воздух с ¹³¹ I и с аммиаком	0.31 ± 0.05	Нет	Ионизация	33.9 ± 2.0	37.6

Такое увеличение аэрозолей при облучении происходило в результате разрушения газообразных соединений ¹³¹I и осаждения йода на ионах, которые создавались в газовой среде под воздействием ультрафиолета и дугового разряда. Одновременно с этим при наличии аммиака в смеси, очевидно, происходила химическая реакция с образованием иодистого аммония, который, как известно, является твердым веществом. Это способствовало образованию аэрозольных частиц, преобразуя таким образом газообразный радиойод в аэрозольное состояние.

Следует отметить, что в опытах с аммиаком при воздействии электродугового разряда изменялось также распределение улавливаемого

^{131}I в пакете сорбирующих фильтров АФАС-И. В нем появлялся новый участок хорошо сорбируемой фракции иода, соответствующий улавливанию молекулярного ^{131}I . Это, по-видимому, было связано с частичным разложением трудносорбируемой фракции ^{131}I и образованием молекулярной фракции иода.

Таким образом, исследования подтвердили возможность преобразования газообразного радиоактивного иода в аэрозольное состояние путем ионизации газовой среды и ее смешения с аммиаком.

Эффективность улавливания газообразного радиойода лентой СФЛ-2И-50 в этих опытах возрастала и достигала 99 % и более.

На этом способе преобразования можно построить высокоэффективную систему очистки радиоактивных йодных выбросов. Например, систему, состоящую из камеры преобразования газовых выбросов и фильтров. В камере преобразования установить смеситель газов с аммиаком и ионизатор в виде игольчатого электрофильтра, а в качестве фильтра использовать фильтры, снаряженные сорбционно-фильтрующим материалом СФМ-И. При этом фильтр предлагается изготовить со сменными фильтрующими элементами в виде барабанной обоймы. Такая система обеспечит высокую степень очистки на длительный период.

Эксперименты по преобразованию паров ртути проводили в лаборатории с целью повышения времени защитного действия фильтров, снаряженных сорбционно-фильтрующим материалом СФМ-Р, изготовленным из ФПП-70 с угольным сорбентом, импрегнированным 20 % йодом [5].

Следует заметить, что ртуть и ее соединения относятся к особо вредным веществам. Согласно санитарным правилам предельнодопустимая концентрация ртути в воздухе 0.01 мг/м³ (максимальная) и 0.005 мг/м³ (среднесуточная) [6].

Преобразование проводили с помощью паров элементарного стабильного йода. Йод был выбран как высокоактивный хемоагент по отношению к ртути и дополнительный сорбционный элемент для подпитки сорбента в применяемом сорбционно-фильтрующем материале.

Для получения паров йода использовали колонку с кристаллическим йодом, через которую продували чистый воздух. Пары ртути смешивали с парами йода в отдельной камере, и образовавшуюся смесь направляли на анализ, который проводили также с помощью пакета аэрозольных и сорбирующих фильтров. Для определения содержания уловленной ртути проводили смыв уловленных осадков и использовали calorиметрический метод Полежаева [7], а также стационарный прибор, измеряющий концентрацию паров ртути по поглощению ультрафиолетового излучения с длиной волны 2537 Å. Содержание йода в газовой среде определяли посредством улавливания его паров в растворе KI и титрования раствора Na₂S₂O₃.

Исследование проводили в динамических условиях. В каждом опыте измеряли количество образующегося аэрозоля и количество оставшихся паров ртути. Одновременно определяли время защитного действия сорбирующего фильтра СФМ-Р с содержанием сорбента 1.5-1.7 мг/см². Эксперименты проводили при комнатной температуре. Скорость потока была 10 см/с.

Условия экспериментов и результаты анализа представлены в табл. 2.

Из полученных данных следовало, что с введением в газовую среду паров йода происходит интенсивное образование аэрозолей и снижение концентрации паров ртути, что приводило к существенному увеличению времени защитного действия сорбционно-фильтрующего материала СФМ-Р.

На основе такого способа преобразования можно построить высокоэффективную систему очистки воздуха от паров металлической ртути и использовать его в технологических и вентиляционных системах очистки.

Таблица 2.

№ п/п	Условия опыта				Результаты анализа		
	Началь- ный состав газов	Конц. Hg, мг/м ³	Конц. I ₂ , мг/м ³	Соотно- шение концен- траций	Содер- жание аэрозо- лей, %	Содер- жание паров, %	Время защитного действия, мин
1	Воздух с Hg	9.3	-	-	Нет	>99	30
2	—"	3.3	-	-	2	98	>120
3	—"	34	5.2	0.15	13	27	>120
4	—"	22	12	0.5	90	10	>180
5	—"	4.1	12	3.2	70	30	>240
6	—"	8.3	25	3.0	63	37	>360

Аналогическим образом можно, очевидно, разработать методы очистки и от других вредных газообразных веществ, например, промышленных выбросов, содержащих окислы азота и сернистый газ.

Желаю успехов в исследовании и разработке таких систем очистки.

Литература

1. Стыро Б.И., Недвецкайте Т.Н., Филистович В.И. Изотопы йода и радиационная безопасность. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992, 256 с.
2. Борисов Н.Б. Исследование и разработка сорбционно-фильтрующих материалов для улавливания и анализа радиоактивных изотопов йода / Научно-информ. журнал АНРИ. 2000. вып. 4 (23), с. 4-13; 2002. вып. 1 (28), с. 13-22; 2003. вып. 1 (32), с. 55-64.
3. Борисов Н.Б. Исследование газообразных фракций радиоактивного йода / Атомная энергия, т.97, вып. 5. 2004, с. 349-355.
4. Борисов Н.Б., Будика А.К. Преобразование газообразной фракции радиоактивного йода в аэрозольное состояние / Атомная энергия (в печати).
5. Борисов Н.Б., Борисова Л.И., Петрянов И.В. Аналитическая лента СФЛ-Р-50 и фильтры АФАС-Р / Гигиена и санитария 1977, № 3, с. 54-56.
6. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
7. Быховская М.С., Гинзбург С.Л., Холизова О.Д. Методы определения вредных веществ в воздухе. М.: Медицина, 1966.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Аветисов А.К. 243
Александров П.А.
340
Алексеев Ю.Г. 306
Андреев Б.М. 234
Андропова А.В. 102
Артамонов Н.А. 9
Астахов В.С. 285
Афанасьева Е.В. 319

Б

Байрамова В.Р. 324
Басманов П.И. 24,
268
Бирюков Ю.Г. 205
Богачев Е.Н. 358
Борисов Н.Б. 423
Будыка А.К. 147,
176, 225, 329

Г

Гинзбург А.С.
Глаголенко Ю.В.
Губанова Д.П.
Гуляев А.И.

Д

Дмитриева М.П. 243
Дружинин Э.А. 190
Дюмаев К.М. 15

Е

Егорова Г.И. 291

З

Загайнов В.А. 205
Зарипов И.Н. 324
Засухина-Петрянова
Г.Д. 17

И

Иорданский М.А.
102

К

Каминский С.К. 311
Капустин И.А. 344
Кирш А.А. 340
Кирш В.А. 340, 375
Климук А.И. 243
Козлова Н.В. 243
Копыт Н.Х. 384
Коробейникова А.В.
220, 285
Котова С.В. 263
Краснов В.А. 329
Кулемин В.В. 358
Кулюхин С.А. 258
Кучаев В.Л. 243

Л

Лушников А.А. 205
Люсова Л.Р. 263

М

Магомедбеков Э.П.
234
Максимов В.Е. 306

Мамагулашвили В.Г.
147, 176, 225, 344

Мартынюк Ю.Н.
225

Мелихов И.В. 358
Минашкин В.М.
102, 392, 407

Миронов Л.А. 291
Михеев Н.Б. 358

Н

Наумова Ю.А. 165
Небрятенко М.Ю.
165
Невский И.А. 102
Нужный В.М. 392

О

Обвинцев Ю.И. 102,
392, 407
Обвинцева Л.А. 243
Огородников Б.И.
49, 329, 344

П

Пак Ю.С. 234
Подплетнева Г.В.
285
Пузанов Л.А. 306
Пятин Н.П. 306,
319

Р

Ровный С.И. 306,
319
Розенкевич М.Б. 234
Румер И.А. 358

С

Савенко Г.И. 384
Садовская Н.В. 243
Садовский Б.Ф. 128,
142, 256
Сахаровский Ю.А.
234
Свиридов В.Ф. 154
Стручаев А.И. 384

Супрун Н.Н. 154

Т

Томашпольский
Ю.Я. 243
Транчук О.А. 306,
319
Трефилова А.В. 102

У

Ушакова Е.Н. 243

Ф

Фатхутдинов Р.Х.
324

Филатов И.Ю. 85,
165, 225, 344

Филатов Ю.Н. 85,
147, 165, 176, 225,
263

Х

Хан В.Е. 329

Ш

Шепелёв А.Д. 243,
256

Шупленко О.Г.
324