

ДИМИТРОВГРАДСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

На правах рукописи

Пайметов Андрей Николаевич

**РАЗРАБОТКА ТЕКСТИЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Специальность: 05.19.02 – Технология и первичная обработка текстильных
материалов и сырья

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук,
профессор Панин И.Н.

Димитровград 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И АНАЛИЗ ВОПРОСА ОБРАЩЕНИЯ С ЖИДКИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ	10
1.1. Обращение с радиоактивными отходами.....	10
1.2. Основные стадии и методы обращения с радиоактивными отходами .	13
1.3. Теория фильтрования и ее основные положения.....	19
1.4. Основные уравнения фильтрования ЖРО для трубчатых текстильных фильтров	26
1.5. Выбор и оценка свойств исходных волокон и нитей для создания фильтровальных перегородок ТТФ, используемых в атомной энергетике и очистке агрессивных сред.....	41
1.6. О современных конструкциях фильтров и их дальнейшем совершенствовании, используемых при очистке РАО	45
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	52
ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НАМОТКИ ТРУБЧАТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ (ТТФ), ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ОЧИСТКЕ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ	53
2.1. Формирование пористых перегородок с помощью намотки трубчатых текстильных фильтров	54
2.2. Влияние вида намоток на пористость фильтровальных перегородок ТТФ.....	58
2.3. Определение пористости фильтровальных перегородок от вида намотки	67
2.4. Исследование фильтровальных свойств пористых перегородок полученных путем наматывания.....	75
2.5. Разработка конструкции мотального механизма для формирования ТТФ предназначенных для очистки промышленных вод	83
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	85

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДОК ТТФ.....	86
3.1. Гидравлические свойства пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров	86
3.2. Проблемы деформации (сплющивании) остова пористой перегородки трубчатых текстильных фильтров	95
ГЛАВА 4. ВЫБОР И ИЗУЧЕНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ УСТАНОВКИ СЖИГАНИЯ, ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЖРО ОРГАНИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫТЯЖКИ И ПРИ СОВМЕСТНОЙ ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ С ВОДНЫМИ ОТХОДАМИ.....	101
4.1. Экспериментальное оборудование и методика проведения экспериментов.....	103
4.2. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение	112
4.2.1. Исследование эффективности очистки дымовых газов с помощью комбинации металлотканевого и тонковолокнистого фильтров	112
4.2.2. Изучение эффективности очистки дымовых газов на стекловолокнистом фильтре при сжигании кубового остатка с малым временем выдержки	116
4.2.3. Исследование эффективности улавливания йода и других зольных промышленных угольным фильтром	119
4.2.4. Изучение эффективности очистки дымовых газов при сжигании обводненных отходов органического теплоносителя	120
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....	123
ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ТТФ В ПРОИЗВОДСТВО	126
5.1. Виды фильтров, используемых в системах очистки ЖРО.....	126
5.2. Расчет себестоимости очистки одного кубометра воды от взвесей и продуктов коррозии.....	129
5.3. Расчет годового экономического эффекта от внедрения в производство	

нового способа изготовления трубчатых текстильных фильтров.....	131
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5	134
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	135
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Акт о внедрении нир.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Расчет оптимальных параметров технологического процесса изготовления многослойных фильтровальных нетканых материалов	147

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение водного и воздушного бассейнов в экономически развитых странах является одной из основных проблем современности. Актуальность этой проблемы объясняется бурным развитием ряда отраслей промышленности, сопровождающимся резким увеличением объема промышленных стоков и более жесткими требованиями к охране окружающей среды и водных ресурсов. [1].

Развитие атомной энергетики во многом зависит от решения проблемы обращения с радиоактивными отходами. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) несут примерно 40-80% активности получаемой в ядерно-топлевном цикле.

Жидкие радиоактивные отходы характеризуются большим разнообразием составов, химических и физических свойств. Помимо радиоактивных нуклидов в их состав входят соли, ионы металлов, органические соединения и т.д., а также твердые вещества в виде мелкодисперсных взвесей, золь и гелей.

При решении проблем обращения с жидкими радиоактивными отходами первоочередной ставится задача концентрирования радионуклидов в минимальном объеме. При этом образующаяся жидкая фаза может повторно использоваться в технологическом цикле либо сбрасывается в окружающую среду без причинения ей какого-либо вреда. Для решения этой задачи на предприятиях атомной энергетики применяются специальные технологии: осаждение, термические методы (выпаривание), ионообменное фильтрование, обратный осмос, механическое фильтрование. Для окончательной переработки таких отходов используют, в основном, термические методы. [2].

Использование этих технологий в водоподготовке в большинстве случаев энергоемки и приводят к образованию вторичных отходов в том числе и пульпообразных. Как отмечается в работе [3] утилизация и

окончательное захоронение пульпообразных отходов дорогостоящая технология и до конца недоработана и требуются новые методы утилизации.

При выборе способа переработки ЖРО предпочтение отдают тому из альтернативных способов, при котором достигается минимальный радиационный риск облучения персонала и населения на всех стадиях обращения с радиоактивными отходами (РАО) при приемлемых социально-экономических показателях.

Поэтому назрела необходимость изыскания новых, нетрадиционных методов утилизации ЖРО с использованием современных фильтровальных перегородок на базе мотальных паковок из текстильных материалов специального назначения.

До настоящего времени для очистки радиоактивных отходов использовались фильтровальные перегородки различных структур и фильтры различных конструкций, среди которых большую долю составляют и текстильные фильтры. Главным образом к ним относятся плоские текстильные фильтры, сформированные из стеклотканей, нетканых материалов.

С этой точки зрения наиболее рациональным, наряду с известными методами, является внедрение в технику фильтрования намоток и трубчатых текстильных фильтров (ТТФ), пористые перегородки которых могут быть получены путем наматывания текстильных нитей на перфорированный остов (патрон) текстильного фильтра. Поскольку процесс наматывания довольно высоко производителен ($V_{нам} \geq 1000 м/мин$), то сформированные таким путем фильтры будут отличаться дешевизной, а выбор вида волокна со специальными свойствами обеспечит высокое качество очистки.

Меняя виды волокон (нитей) и структуру намотки пористой перегородки, легко создать требуемую пористость и проницаемость, а, следовательно, и задавать степень очистки загрязненной воды или отходящих газов при достаточно высокоэффективном процессе фильтрации. Намотка текстильных материалов создает возможности изготовления

пористых перегородок фильтров компактных размеров, что имеет немаловажное значение при использовании их для очистки радиоактивных отходов в замкнутых пространствах реакторных объектов. Кроме того, повышается возможность утилизации таких фильтров с помощью термических методов (т.е. в виде твердофазовых отходов).

В некоторых случаях применение текстильных фильтров не имеет альтернативы. Например, при фильтрации растворов с заданной дисперсностью частиц используются трубчатые текстильные фильтры, ввозимые из США[4]. Они способны пропускать мелкодисперсные частицы указанных растворов и задерживать крупные частицы. В настоящее время этот вопрос необходимо решать с учетом импортозамещения. Конструкции таких фильтров могут с успехом быть созданы и у нас в России, что и является одной из задач данной работы, которая посвящена обращению с жидкими радиоактивными отходами, а именно рассматриваются вопросы очистки ЖРО, содержащих взвеси различной дисперсности, с помощью трубчатых текстильных фильтров.

Целью данной работы является разработка и исследование структур текстильных фильтровальных перегородок, а так же возможность их использования для очистки вод и отходящих газов, загрязненных радиоактивными отходами.

Научная новизна заключается в том, что:

- предложен метод расчета параметров формирования ТТФ для очистки ЖРО и отходящих газов, обеспечивающий получение текстильной перегородки с максимальной проницаемостью - на основе теории фильтрации;
- на аналитическом уровне определена оптимальная структура текстильных фильтров для очистки ЖРО и отходящих газов;
- определена зависимость пористости фильтровальных перегородок от вида и структуры намотки, позволяющая прогнозировать качество ТТФ;

- исследована радиационная стойкость различных фильтрующих материалов фильтровальных перегородок;

- определены оптимальные фильтровальные свойства различных текстильных специальных материалов пористых перегородок полученных путем наматывания;

- исследованы гидравлические свойства фильтровальных перегородок ТТФ из различных текстильных материалов на основе теории фильтрации;

- определен характер деформации (сплющивания) остова пористой перегородки трубчатых текстильных фильтров на основе положений теории механики нити;

- проведены исследования отложений осадка на ТТФ, образующихся от ОТВС.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

- предложена конструкция специального мотального механизма для формирования ТТФ, предназначенных для очистки ЖРО и отходящих газов;

- изготовлен образец модульного патронного фильтра и проведены его испытания в бассейнах выдержки ОТВС

- определены материалы и оптимальные параметры структуры трубчатых текстильных фильтров для использования их в системах очистки ЖРО и отходящих газов;

- получены трубчатые текстильные фильтры из термостойких ни-тей заданных типоразмеров;

- доказана возможность использования различных текстильных материалов для очистки ЖР и отходящих газов;

- проведены испытания фильтров в бассейне выдержки ОТВС с целью определения возможности использования их для очистки ЖРО;

- проведен анализ экономической эффективности внедрения трубчатых текстильных фильтров в производство.

Обоснование научных положений и выводов подтверждается корректным использованием современных методов и средств исследования,

корреляцией расчетных и экспериментальных данных.

Автор защищает:

- метод расчета параметров процесса формирования пористых перегородок ТТФ для очистки ЖРО и отходящих газов и оптимальных параметров их структуры:

- результаты исследований фильтровальных свойств пористых перегородок, полученных путем наматывания термостойких нитей;

- результаты экспериментальных исследований определения возможности использования ТТФ из различных специальных материалов в системах очистки ЖРО и отходящих газов;

- конструкции оборудования для получения пористых перегородок ТТФ для очистки ЖРО и отходящих газов.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И АНАЛИЗ ВОПРОСА ОБРАЩЕНИЯ С ЖИДКИМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

1.1. Обращение с радиоактивными отходами

Человеческое общество не может существовать без потребления энергии. Использование источников энергии неизбежно связано с вредным воздействием на окружающую среду. Это воздействие специфично для каждого типа источника энергии. Ядерная энергия характерна тем, что ее вредное воздействие связано с радиоактивным излучением.

Большинство видов деятельности человека ведет за собой образование различных побочных и отработанных материалов. Каждый год только одно Европейское экономическое сообщество, насчитывающее около 350 млн. человек, производит около 1×10^8 т бытовых, $1,5 \times 10^8$ т промышленных, 2×10^8 т шламообразных и более 1×10^9 т – сельскохозяйственных отходов [5].

Получение коммерческой выгоды от использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения приводит к образованию некоторых отходов, которые либо радиоактивны сами по себе, либо загрязнены радиоактивными веществами. Они являются одним из источников потенциального риска для человека и биосферы.

При обращении с радиоактивными отходами важно обеспечить безопасность человека и биосферы в течении очень длительных интервалов времени. При этом риск от обращения с радиоактивными отходами не должен являться значимым добавлением к суммарному техногенному риску, которому подвергаются человек и среда его обитания в процессе жизнедеятельности общества в существующих экономических и исторических условиях. Уровень его должен обеспечиваться как при нормальных условиях обращения с радиоактивными отходами, так и при возникновении аварий и чрезвычайных ситуаций.

Важными особенностями радиоактивных отходов являются их высокая

удельная токсичность, сравнительно небольшая масса, риск радиационной аварии, снижение активности со временем вследствие радиоактивного распада. Эти особенности определяют основные принципы обеспечения экологической безопасности при обращении с радиоактивными отходами.

Обращение с радиоактивными отходами должно предусматривать:

- их концентрацию до минимальных объемов;
- перевод в недоступное для биогенной миграции состояние;
- надежную длительную изоляцию от биосферы;
- максимальное сокращение территорий, занимаемых хранилищами радиоактивных отходов.

Важное значение имеет перевод РАО в стабильные, химически устойчивые формы с низкой миграционной способностью радионуклидов.

Размещение радиоактивных отходов следует предусматривать в средах, максимально ограничивающих потенциальную биогенную миграцию радионуклидов. При решении вопроса об окончательном захоронении радиоактивных отходов необходимо учитывать возможность их регенерации в будущем.

Неприемлемо рассеивание радиоактивных отходов в окружающей природной среде, поскольку это не снижает величину коллективной дозы и радиационного риска и не обеспечивает экологическую безопасность населения и биосферы [6,7].

К радиоактивным отходам относят растворы, изделия, газ, материалы, биологические объекты, содержащие радиоактивные вещества в количествах, превышающих величины, установленные действующими нормами и правилами, и не подлежащие дальнейшему использованию на данном или каком-либо другом производстве и в научных исследованиях.

Радиоактивные отходы разделяют на жидкие (ЖРО), твердые (ТРО), и газообразные (ГРО).

Под ЖРО понимают растворы, содержащие радиоактивные нуклиды, которые по технико-экономическим или иным соображениям не могут быть

использованы для получения товарной продукции или в других хозяйственных целях. ЖРО характеризуются большим разнообразием составов, химических и физических свойств, зависящих от места и условий их образования и обращения перед направлением их на хранение или захоронение. Помимо радиоактивных нуклидов в состав ЖРО входят соли, ионы металлов, кислоты, щелочи, органические соединения и т.д., а также твердые вещества в виде мелкодисперсных взвесей, золь и гелей.

К твердым радиоактивным отходам относят загрязненные радиоактивными веществами демонтированное оборудование, изделия, материалы, биологические объекты, отработанные фильтры, спецодежда, мусор, отработавшие источники ионизирующих излучений и т.д., не подлежащие дальнейшему использованию.

К газообразным радиоактивным отходам (ГРО) относят газовые и воздушные смеси, содержащие радиоактивные вещества в виде газа или аэрозолей, которые не могут быть использованы в хозяйственных целях или исследованиях и превышают допустимую объемную активность радионуклидов во вдыхаемом воздухе для населения.

РАО в зависимости от их химического, радиохимического состава и их активности разделяются на три группы: высоко активные, средне активные и слабо активные (низко активные). Более подробно их классификация описана в санитарных правилах обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85) [8] и в нормах радиационной безопасности (НРБ-99) [9].

1.2. Основные стадии и методы обращения с радиоактивными отходами

Принципиальная схема обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного комплекса приведена на рисунке 1.1. Основные стадии обращения с РАО представляются в следующем виде [10].

Сбор осуществляют в местах образования и/или переработки с учетом их природы, агрегатного состояния, радиационных, физических, химических и токсических характеристик, взрыво- и огнеопасного состояния, исходя из методов последующего обращения

Классификационная сортировка первичных жидких и твердых РАО направлена на разделение отходов по различным категориям и группам.

Задачей кондиционирования РАО является повышение безопасности обращения с ними за счёт минимизации объема, перевод в стабильные формы и затаривание отходов в контейнеры, приемлемые для транспортирования, хранения и захоронения. Кондиционирование РАО осуществляют на предприятиях – источниках образования отходов и на специальных предприятиях. Методы кондиционирования РАО выбирают, исходя из характеристики и свойств отходов. При выборе способа переработки предпочтение отдают тому из альтернативных способов, при котором достигается минимальный радиационный риск облучения персонала и населения на всех стадиях обращения с РАО при приемлемых социально – экономических показателях.

Хранение РАО осуществляют с учетом классификационной сортировки на предприятиях-источниках образования отходов и специализированных предприятиях в инженерном сооружении, обеспечивающем безопасную изоляцию отходов.

Тип и конструкцию хранилища и условия хранения выбирают, исходя из характеристик отходов и упаковок с учетом возможности извлечения и передачи их на переработку или захоронение.

Безопасное перемещение упаковок от мест образования РАО к

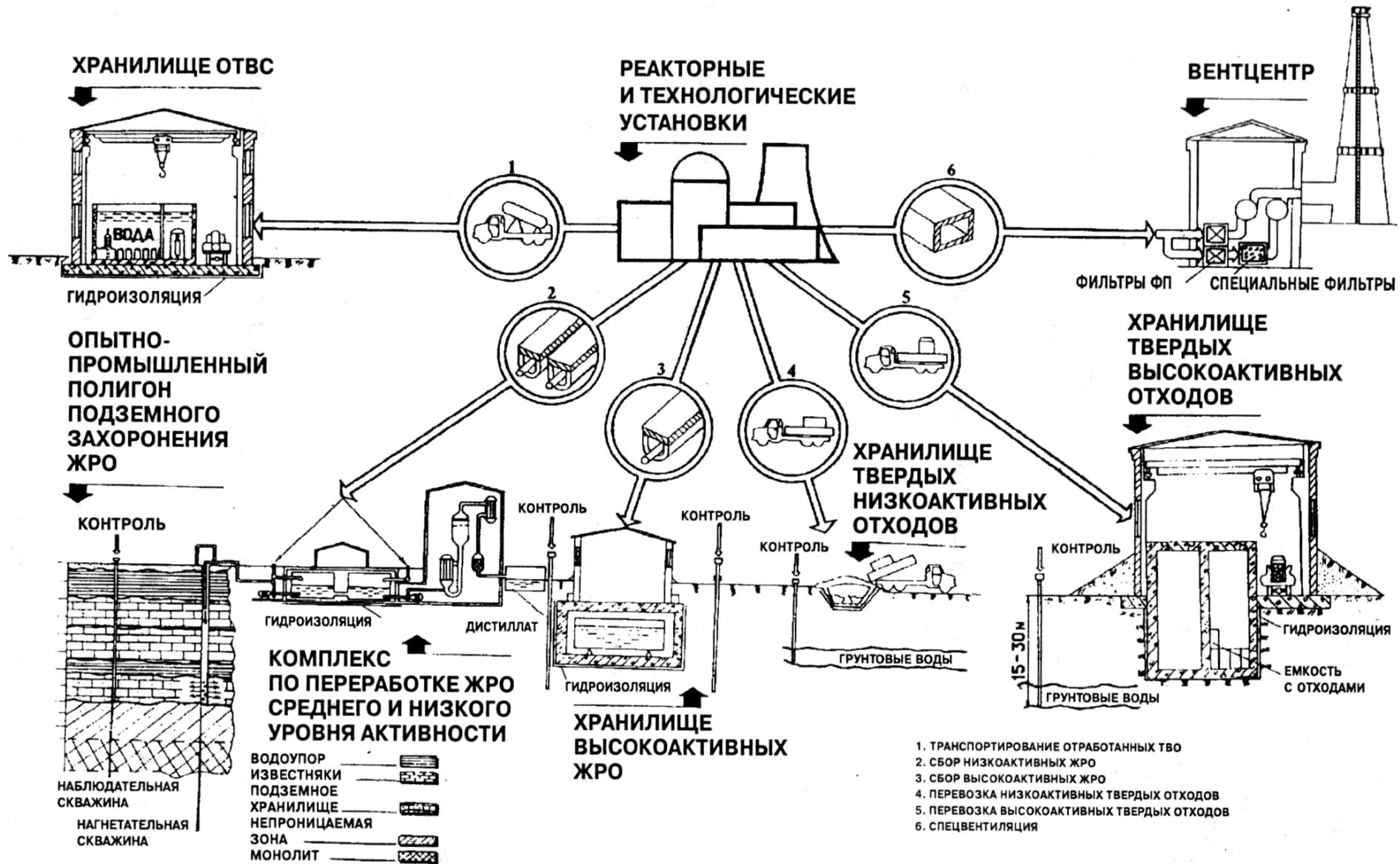


Рисунок 1.1. Принципиальная схема обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного комплекса

установкам переработки, площадкам хранения и захоронения осуществляют с использованием специальных транспортных и грузоподъемных средств.

Захоронение РАО предназначено для безопасной изоляции кондиционированных РАО от сферы деятельности человека в течение всего срока хранения отходов без намерения последующего извлечения. Это достигается использованием глубоко эшелонированной системы естественных и искусственных барьеров на пути возможного распространения радиоактивных и токсичных веществ в окружающую среду.

В зависимости от срока потенциальной опасности и характеристик кондиционированных РАО их захоронение проводится в могильники приповерхностного и подземного типов.

Как указывалось в работах [9, 10], в настоящее время жидкие отходы хранятся в специальных емкостях, расположенных на той же производственной территории. Очевидно, хранить разбавленные растворы экономически нецелесообразно, поэтому следует сооружать установки для концентрирования радиоактивных элементов в возможно меньшем объеме или перевода их в твердое состояние, а так же разделения твердой и жидкой фазы в пульпообразных отходах, при этом полученную жидкую фазу можно повторно использовать в технологических операциях. В зависимости от состава и класса активности выбирают метод обработки жидких радиоактивных отходов. Основными методами обработки ЖРО являются:

- осаждение [12,13,14];
- ионообменное фильтрование воды [15,16,17];
- термическая обработки ЖРО [18, 19.];
- очистка мембранами [20];
- механическое фильтрование (осветлительные фильтры) [21, 22, 23];
- глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов [24, 25, 26].

Проведенный анализ показывает, что все существующие методы имеют ряд специфических недостатков. Сущность метода и его недостатки показаны в таблице 1.1.

Методы обезвреживания ЖРО

№ п/п	Метод обращения ЖРО	Сущность метода	Основные недостатки
1.	Обработка воды методом осаждения	Коагуляция содержащихся в воде коллоидных частиц в целях их укрупнения до таких размеров, при которых они задерживаются отстойниками и фильтрами.	Малая эффективность, низкий коэффициент очистки, дороговизна
2.	Ионообменное фильтрование	Изменение в желаемом направлении ионного состава воды путем пропускания ее через специальные мелкозернистые вещества, называемые ионообменными материалами, или ионитами (применяется совместно с механическими фильтрами).	Энергоемкость.
3.	Термическая обработка	Используется тепло для концентрации отходов переводом основного компонента – воды в пар, необходимо задерживать поверхностно – активные вещества.	Требует расхода большого количества тепла, громоздкость оборудования.
4.	Мембранные методы	Эти методы заимствованы из практики опреснения засоленных вод, где основная задача сводится к разделению воды и соли. Такое разделение достигается избирательным прохождением через мембраны ионов (электродиализ) или воды (обратный осмос) под воздействием соответственно разности электрических потенциалов или перепада давления.	Избирательность методов

№ п/п	Метод обращения ЖРО	Сущность метода	Основные недостатки
5.	Механическое фильтрование	Механическое фильтрование воды осуществляют путем пропускания ее через какое-либо пористое вещество (текстильные фильтры) называемое фильтрующим материалом. Поступающая на такой фильтр под некоторым напором мутная вода просачивается через поры фильтрующего материала, а содержащиеся в воде взвешенные вещества задерживаются на поверхности и в порах фильтрующего материала. При этом на фильтрующем материале частично сорбируются радиоактивные изотопы.	Образование вторичных радиоактивных отходов, громоздкость оборудования
6.	Глубинное захоронение	Удаление из среды обитания человека – захоронение под землей, глубоко залегающих геологических формациях.	Для предотвращения образования в приемных емкостях осадка необходимо применять механические фильтры, применяется для низкоактивных отходов

Как видно из таблицы 1.1. совершенствование методов переработки ЖРО является актуальной задачей.

Механическое фильтрование является одним из наиболее перспективных направлений в развитии методов обработки отходов, так как

оно является как основным так и вспомогательным методом обезвреживания жидких радиоактивных отходов. Совершенствование фильтров связано с изысканием новых, эффективных фильтрующих материалов и структур, созданием рациональных дренажных и распределительных систем, оптимизацией технологических режимов водоочистки и ее автоматизацией. Наиболее доступным и перспективным направлением в поиске эффективных фильтров является использование фильтров с текстильными перегородками (из материалов специального назначения).

1.3. Теория фильтрования и ее основные положения

Как известно, [27; 28, 29], в основу теории фильтрования были заложены результаты исследований фильтрации грунтовых вод, нефти и газа сквозь пористую среду в естественных пластах под поверхностью земли.

Фильтрация – это движение жидкости или газа через пористую среду. Она имеет большое значение в строительстве гидротехнических сооружений, в мелиорации, в водоснабжении, при добыче нефти и газа, в горном деле, в атомной промышленности и т.д.

Движение воды в грунтах подчиняется закону фильтрации Дарси [30].

$$V = k \cdot I, \quad (1.1)$$

где k – коэффициент фильтрации;

$I = \frac{H}{L}$ – напорный градиент или гидравлический уклон;

H – напор, теряемый на длине L пути фильтрации;

L – путь фильтрации.

Расход фильтрующейся жидкости и газа (фильтрационный расход) определяется по формуле:

$$Q = V \cdot S = k \cdot S \cdot I = k \cdot S \cdot \frac{H}{L}, \quad (1.2)$$

где S – полная площадь поперечного сечения фильтрационного потока (не только сечения пор, но и твердых частей).

Скорость фильтрации меньше действительной средней скорости жидкости или газа в порах, т.к. движение происходит через ту часть площади сечения S , которая занята порами.

Закон Дарси справедлив при ламинарном движении в порах фильтрующей среды, что большей частью и имеет место в действительности (песчаные, глинистые, грунты, бетон). При фильтрации в крупнозернистых материалах, где имеет место турбулентное движение, скорость движения определяется другими зависимостями, например:

$$V = k' \cdot I^m, \quad (1.3)$$

где k' и m – фильтрационные характеристики грунта. Причем первая аналогична коэффициенту фильтрации, а вторая изменяется в пределах от 1 до 0,5. [31].

Закон фильтрации Дарси может быть записан в векторной форме:

$$V = k \cdot I, \quad (1.4)$$

При длительном движении воды сквозь узкие поры равномерно гранулированного грунта скорость фильтрации V пропорциональна падению давления.

При изучении процесса фильтрации не ставилась задача об очистке фильтрующейся жидкости или газа от взвешенных частиц. Исследователей больше интересовал вопрос об увеличении или уменьшении скорости фильтрации (например вопрос об уменьшении фильтрации воды сквозь бетонные или земляные перегородки плотин).

Однако при фильтрации происходит очищение фильтрующейся жидкости (суспензии) от взвешенных в ней твердых частиц. При этом происходит процесс фильтрования.

Фильтрование – это процесс разделения суспензий или аэрозолей при помощи фильтровальных перегородок, пропускающих твердые частицы. При фильтровании суспензий отделяемые от жидкости твердые частицы чаще всего образуют на фильтровальной перегородке слой влажного осадка,

который при необходимости может промываться водой и другими жидкостями или продуваться воздухом с целью его сушки [32].

Твердые частицы очень вязких и малоцентрированных тонкодисперсных суспензий могут проникать в поры фильтровальной перегородки и задерживаться там, не образуя осадка. Возможно так же фильтрование, при котором твердые частицы проникают в поры и одновременно образуют осадок.

Для предотвращения или замедления закупорки пор применяют вспомогательные вещества (диатомит, перлит, асбест, целлюлозу и др.), которые либо наносят на фильтрующую перегородку, либо добавляют в суспензию. Принцип действия этих материалов заключается в том, что они образуют защитные сводики над порами, препятствующие их закупориванию.

Различают следующие виды фильтрования:

- собственно разделение суспензий, т.е. отделение содержащихся в них твердых частиц, задерживаемых на фильтровальной перегородке, через которую удаляется подавляющее количество жидкости;
- сгущение суспензий, т.е. повышение в них концентрации твердой фазы путем удаления через фильтрующую перегородку некоторой части жидкой фазы;
- осветление жидкостей, т.е. очистка от содержащихся в них небольшого количества тонких взвесей.

Жидкость при движении через слой осадка и фильтровальную перегородку встречает гидравлическое сопротивление, для преодоления которого необходимо создание перепада давления (вакуума под фильтровальной перегородкой или избыточного давления над ней). При постоянном перепаде давления скорость фильтрования падает по мере увеличения толщины слоя осадка и, следовательно, возрастания гидравлического сопротивления.

В случае подачи суспензии на фильтровальную перегородку

поршневым насосом фильтрование происходит при непрерывном росте перепада давления и с постоянной скоростью фильтрования.

Если же суспензия подается на фильтровальную перегородку центробежным насосом, то изменяются непрерывно как перепад давления, так и скорость фильтрования.

Осадки, получаемые при фильтровании, бывают несжимаемые (пористость которых в процессе фильтрования постоянная) и сжимаемые (пористость которых в процессе фильтрования уменьшается).

В случае несжимаемых осадков (например, частиц песка, кристаллов карбоната кальция) поток жидкости через фильтровальную перегородку ламинарен и скорость фильтрации пропорциональна перепаду давления и высоте слоя осадка.

В случае сжимаемых осадков (например, гидроокисей металлов) эта зависимость более сложная и индивидуальна для каждой суспензии.

Сжатие осадка приводит к увеличению гидравлического сопротивления и уменьшению скорости фильтрования. Для предотвращения сжатия осадка к тонкодисперсным суспензиям добавляют коагулянты и флокулянты, способствующие агрегированию мелких частиц и повышению пористости осадка.

Очевидно, что процесс фильтрования должен отвечать следующим требованиям:

1. Обеспечивать достаточно высокую степень очистки фильтруемой жидкости от взвешенных частиц;
2. Быть достаточно эффективным, т.е. протекать при высокой скорости фильтрации суспензий;
3. Отличаться малым расходом энергии на фильтрование определенного объема суспензии;
4. Обеспечивать возможность легкого удаления осадка с пористой перегородки фильтра.

Выполнение всех указанных требований в основном зависит от вида

построения пористых перегородок фильтров, конструкции и структура которых весьма разнообразны.

Известно [33], что в текстильных фильтрах в качестве фильтрующих перегородок используются ткани, трикотажные полотна, нетканые материалы и различные намотки хлопчатобумажных или химических нитей на перфорированные металлические или пластиковые патроны. Текстильные фильтры могут быть плоскими (ПТФ) и трубчатые (ТТФ). В плоских текстильных фильтрах фильтрующая перегородка является развернутой плоскостью, а в трубчатых – цилиндрической (рукавной).

Структура и переплетение нитей в фильтровальном текстильном полотне ткани должны быть настолько редкими, насколько это возможно для уменьшения быстрого закупоривания пор осадком, и настолько плотным, насколько это необходимо для предотвращения прохождения («проскока») через ткань тонкодисперсных твердых частиц [34]. Наибольшей способностью задерживать тонкодисперсные твердые частицы обладают специальные (номерные) технические ткани, затем эта способность понижается в ряду: сложные саржи (ткани сатинового переплетения) - саржи - рукавные ткани [35].

Способность к закупориванию пор осадком повышается в обратном порядке. Толстые и жесткие ткани склонны к закупориванию в большей степени, чем тонкие и гибкие. Влияние закупоривания пор осадком на скорость фильтрования настолько значительно, что в конечном итоге приходится заменять ткань. Закупоривание пор осадком определяет срок службы ткани до промывки и вынуждает вводить при определении производительности фильтра коэффициент запаса, учитывающий время, нужное на ее промывку (удаление осадка – регенерацию).

Все вышесказанное справедливо и для пористых перегородок, получаемых путем наматывания нитей или нитевидных нетканых материалов на перфорированные патроны.

Во всех случаях для эффективного действия фильтра важное значение

имеет выбор типа и строения фильтровальной перегородки, хотя она по существу только поддерживает осадок, который на ней откладывается. Фильтровальная перегородка должна иметь максимальные размеры пор и одновременно обеспечивать получение достаточно чистого фильтрата, для этого фильтровальная перегородка должна обладать следующими свойствами:

- способностью хорошо задерживать твердые частицы суспензии;
- небольшим гидравлическим сопротивлением потоку фильтрата;
- возможностью легко отделять осадок;
- стойкостью к химическому воздействию агрессивных сред разделяемых веществ;
- способностью не набухать при соприкосновении с жидкой фазой суспензии с промывной жидкостью;
- достаточной механической прочностью;
- теплостойкостью при температуре фильтрования;
- невысокой стоимостью.

Если фильтровальная перегородка обладает малой проницаемостью (большим гидравлическим сопротивлением), то для обеспечения требуемой скорости фильтрации (требуемой производительности фильтра) необходимо поддерживать слишком большой перепад давлений на внешней и внутренней поверхностях фильтрующей перегородки. Последнее обстоятельство приводит к увеличению расхода энергии на процесс очистки жидкостей и газов и может вызвать порчу («пробой») фильтровальной перегородки.

Большой интерес представляют трубчатые текстильные фильтры, пористые перегородки которых выполнены в виде намотки нити на перфорированные патроны (основания). Пористость, а, следовательно, и проницаемость таких перегородок можно легко изменять в широких пределах путем формирования на патронах различного вида намоток (сомкнутых, замкнутых, спиралевидных, застилистых и т.д.).

Однако, следует заметить, что не всегда требуется тонкая очистка

жидкостей от различных взвешенных в них частиц. Например, при подготовке фармпрепаратов необходимо разделять крупные и мелкие фазы, что и делается на фильтровальных перегородках. В этом случае применяют трубчатые текстильные фильтры, пористые перегородки которых представляют собой различного вида структуры намотки нити на перфорированные патроны [4].

Иногда целесообразно в виде пористых перегородок использовать комплексные фильтры, сформированные из текстиля различного вида (намоток разных структур, тканей, нетканых материалов) [36], представляющие собой последовательное чередование сомкнутых, замкнутых, спиралевидных и застилистых намоток при навивании нити на один и тот же перфорированный патрон. Особенно эффективно применение таких перегородок, когда фильтрование ведется не с образованием осадка, а с закупоркой пор [37].

1.4. Основные уравнения фильтрации ЖРО для трубчатых текстильных фильтров

Как показывает практика эксплуатации к недостаткам плоских текстильных фильтров следует отнести:

- сложность конструкции и дороговизну изготовления;
- увеличенные габариты по сравнению с трубчатыми текстильными фильтрами при той же производительности (при том же фильтрационном расходе);
- сложность удаления осадка с поверхности перегородки.

Трубчатые текстильные фильтры можно изготавливать путем наматывания на перфорированные основания (патроны) различных текстильных материалов (тканей, нитей, трикотажных и нетканых полотен). Они более просты по конструкции и компактны по своему строению.

Однако в случае трубчатых текстильных фильтров скорость движения фильтрата не остается постоянной в радиальном направлении пористой перегородки:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{2\pi \cdot r \cdot H} \neq const, \quad (1.5)$$

где r – текущий радиус намотки пористой перегородки;

H – высота пористой перегородки, м.

Выделим в пористой намотке трубчатого текстильного фильтра элементарный цилиндр высотой H и толщиной $\Delta r = dr$, объем жидкости протекающей через этот цилиндр в единицу времени может быть определен по формуле:

$$Q = |v|S = k_{\phi} \cdot \frac{dh_r}{dr} 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H, \quad (1.6)$$

где h_r – гидравлический напор жидкости в слое толщиной dr ;

k_ϕ – коэффициент фильтрации;

r – радиус основания элементарного цилиндра, м;

$S = 2\pi rH$ – площадь поверхности элементарного цилиндра, м³.

Приращение объема жидкости в элементарном цилиндре в единицу времени:

$$\Delta Q = dQ = \frac{dQ}{dr} = 2\pi \cdot k_\phi \cdot H \frac{d}{dr} \left(r \frac{dhr}{dr} \right) dr, \quad (1.7)$$

Если жидкость несжимаема, то $\Delta Q = 0$.

Тогда:

$$2\pi \cdot k_\phi \cdot H \frac{d}{dr} \left(r \frac{dhr}{dr} \right) dr = 2\pi \cdot k_\phi \cdot H \left(\frac{dhr}{dr} + r \frac{d^2hr}{dr^2} \right) dr = 0, \quad (1.8)$$

Последнее возможно лишь тогда, когда:

$$\frac{dhr}{dr} + r \frac{d^2hr}{dr^2} = 0, \quad (1.9)$$

Краевые условия при решении этого дифференциального уравнения примем в виде:

При $r = r_0$ имеем $hr = 0$;

При $r = r_u$ имеем $hr = h_{ru}$.

Введем новую переменную;

$$u = \frac{dhr}{dr}; \quad \frac{d^2hr}{dr^2} = \frac{du}{r}; \quad (1.10)$$

Тогда имеем:

$$\frac{d^2Hr}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dhr}{dr} = 0, \quad (1.11)$$

или

$$\frac{du}{dr} + \frac{1}{r}u = 0; \quad \frac{du}{u} = -\frac{dr}{r}, \quad (1.12)$$

$$\ln u = -\ln r + \ln C_1; \quad \ln u + \ln r = \ln C_1;$$

$$\ln ur = \ln C_1; \quad ur = C_1;$$

Поскольку $u = \frac{dhr}{dr}$, то $r \frac{dhr}{dr} = uC_1$

$$dhr = u \frac{dr}{r},$$

$$hr = u \ln r + C_2, \quad (1.13)$$

Постоянные интегрирования находим, используя краевые условия:

$$0 = u \ln r_0 + C_2, \quad (1.14)$$

$$h_{rn} = u \ln r_n - u \ln r_0, \quad (1.15)$$

$$h_{rn} = u \ln r_n + C_2, \quad (1.16)$$

$$C_1 = \frac{h_{rn}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (1.17)$$

$$C_2 = -\frac{hr_n \cdot \ln r_0}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (1.18)$$

Распределение напора в радиальном направлении трубчатого текстильного фильтра может быть описано уравнением:

$$h_r = \frac{h_{rn}}{\ln \frac{r_n}{r_0}} \ln r - \frac{h_{rn} \ln r_0}{\ln \frac{r_n}{r_0}} = \frac{h_{rn} \ln \frac{r}{r_0}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (1.19)$$

Распределение давления в радиальном направлении трубчатого

текстильного фильтра может быть представлено формулой:

$$P = \frac{P_n \cdot \ln \frac{r}{r_0}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (1.20)$$

Скорость фильтрации определяется по формуле:

$$|V_n| = k_\phi \frac{dh_r}{d^2} = k_\phi \frac{h_{rn} \frac{r_0}{r} \cdot \frac{1}{r_0}}{\ln \frac{r_n}{r_0}} = k_\phi \frac{h_{rn}}{r_n \ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (1.21)$$

Массовый расход фильтруемой жидкости:

$$Q = 2\pi \cdot r_n \cdot H \cdot \rho_{жс} \cdot |V_n| = 2\pi \cdot P \cdot \rho_{жс} \cdot k_\phi \frac{h_{rn}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (1.22)$$

где $\rho_{жс}$ – удельная плотность фильтруемой жидкости, кг/м³;

Поскольку

$$\rho_{жс} \cdot h_{rn} = P, \quad (1.23)$$

то:

$$Q = 2\pi \cdot H \cdot k_\phi \frac{P}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (1.24)$$

Если P измерено в атмосферах кг/см², то:

$$Q = 2\pi \cdot H \cdot k_\phi \frac{P \cdot 10^4}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \text{ [кг/с]} \quad (1.25)$$

Если измеряется в паскалях н/м², то:

$$Q = 2\pi \cdot H \cdot k_\phi \frac{P}{10 \cdot \ln \frac{r_n}{r_0}}, \text{ [кг/с]} \quad (1.26)$$

Очевидно, если на пористой оболочке фильтра возникает осадок, то расход фильтруемой жидкости может быть определен по формуле:

$$Q = \frac{P}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi oc}} + \frac{\ln \frac{r_1}{r_0}}{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi \phi n}}}, \quad (1.27)$$

где $k_{\phi oc}$ – коэффициент фильтрации осадка, м/с;

$k_{\phi \phi n}$ – коэффициент фильтрации фильтровальной перегородки.

$$\frac{Q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi oc}} + \frac{Q \cdot \ln \frac{r_1}{r_0}}{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi \phi n}} = P, \quad (1.28)$$

Если коэффициент фильтрации осадка будет малой величиной, то на нем будет наблюдаться наибольший перепад давления. Это обстоятельство способствует выравниванию давления фильтруемой жидкости в радиальном направлении трубчатого текстильного фильтра.

В случае плоского текстильного фильтра скорость движения жидкости в фильтрующем слое может быть определена по формуле:

$$v = -k_{\phi} \frac{\partial h_r}{\partial x}, \quad (1.29)$$

где h_r – гидравлический напор жидкости в слое, находящемся на расстоянии x от места начала фильтрации;

$\frac{\partial h_r}{\partial x}$ – градиент изменения напора жидкости по направлению фильтрации.

Поскольку перепад давлений на пути фильтрации x равен $P = \gamma_{\text{жс}} \cdot h_r$, то последнюю формулу можно записать в следующем виде:

$$v = -\frac{k_{\phi}}{\gamma_{\text{жс}}} \cdot \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (1.30)$$

где $\gamma_{ж}$ – удельный вес фильтруемой жидкости, н/м³.

В плоском текстильном фильтре:

$$v = -\frac{k_{\phi}}{\gamma_{ж}} = \frac{P}{\Delta l} = const, \quad (1.31)$$

где Δl – толщина пористой перегородки, м;

$$|v| = \frac{k_{\phi} \cdot P \cdot \mu}{\gamma_{ж} \cdot \Delta l \cdot \mu} = \frac{P}{\mu \cdot R_{\phi n}}, \quad [м/с] \quad (1.32)$$

$$R_{\phi n} = \frac{\gamma_{ж} \Delta l}{\mu k_{\phi}}, \quad (1.33)$$

где $R_{\phi n}$ – гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки, 1/м;

μ – динамическая вязкость фильтруемой жидкости, Па·с.

Наиболее полно проницаемость пористой перегородки может быть охарактеризована коэффициентом проницаемости:

$$k_{np} = \frac{\Delta l}{R} = \frac{\mu}{\gamma_{ж}} k_{\phi}, \quad (1.34)$$

Скорость прохождения фильтрата в любой точке пористой перегородки плоского текстильного фильтра, отстоящей на расстоянии x от места начала фильтрации может быть определена по формуле:

$$V_x = \frac{k_{\phi} \cdot P_x}{\gamma_{ж} (\Delta l - x)} = V = const, \quad (1.35)$$

где P_x – давление фильтруемой жидкости в точке перегородки, отстоящей на расстояние x от места начала фильтрации. В этом случае:

$$P_x = \frac{V \gamma_{ж} (\Delta l - x)}{k_{\phi}}, \quad (1.36)$$

Давление фильтруемой жидкости равномерно распределяется по толщине пористой перегородки, что обеспечивает наименьшую вероятность

ее повреждения (пробоя) при достаточно высоких давлениях.

В трубчатых текстильных фильтрах имеет место неравномерное распределение давления фильтруемой жидкости по толщине пористой перегородки. Наибольший перепад давлений приходится на внутренние слои, прилежащие к патрону фильтра, в результате чего, возможно их повреждение (пробой) при значительных давлениях фильтруемой жидкости.

Поскольку проникновение жидкостей и газов сквозь твердое тело (фильтрующую перегородку) может происходить по трещинам и порам, то проницаемость зависит от пористости фильтрующей перегородки, которая определяется объемом пор в единице объема тела и выражается формулой:

$$\Pi = \frac{V_{пор}}{V}, \quad (1.37)$$

где V – объем фильтрующей перегородки;

$V_{пор}$ – объем, занимаемый порами в общем объеме фильтрующей перегородки V .

В трубчатых текстильных фильтрах в качестве пористых перегородок используются различные виды намоток на перфорированные патроны. В этом случае целесообразнее всего пористость фильтрующей перегородки выразить через удельную плотность намотки нити на патрон:

$$\gamma = k_3 \cdot \gamma_n, \quad (1.38)$$

где k_3 – коэффициент заполнения объема пористой перегородки волокнистым материалом;

γ_n – плотность нити, г/см³;

Масса пористой перегородки фильтра:

$$G = \gamma \cdot V = \gamma_n \cdot V_n, \quad (1.39)$$

где V_n – объем, занимаемый нитями в общем объеме V пористой перегородки.

Очевидно:

$$V = V_{nop} + V_n, \quad (1.40)$$

$$V_n = V \cdot k_3 = V \frac{\gamma}{\gamma_n}, \quad (1.41)$$

Тогда:

$$V_{nop} = V - V_n = V - V \cdot k_3 = V(1 - k_3), \quad (1.42)$$

Пористость фильтрующей перегородки:

$$P = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_n}, \quad (1.43)$$

Следовательно, для увеличения пористости (а, значит, и проницаемости ТТФ с фильтрующей перегородкой, представляющей собой намотку нити на перфорированный патрон) необходимо уменьшать плотность γ указанной намотки.

На практике иногда пользуются понятием коэффициента пористости, который определяется по формуле:

$$k_n = \frac{V}{V_n} = \frac{\gamma_n}{\gamma}, \quad (1.44)$$

Тогда пористость будет равна:

$$P = 1 - \frac{1}{k_n}, \quad (1.45)$$

Отметим, что Закон Дарси справедлив при ламинарном течении жидкости в порах фильтрующей перегородки, что большей частью и имеет место в действительности. При фильтрации в крупнозернистых материалах, где имеет место турбулентное движение жидкости, скорость фильтрации определяется другими зависимостями. Например:

$$v = k'_\phi \cdot I^m, \quad (1.46)$$

где k'_ϕ и m – фильтрационные характеристики пористой перегородки.

Закон Дарси в конкретных условиях отражает критическое значение числа Рейнольдса:

$$\text{Re}_{kp} = \frac{v \cdot d_{cp}}{\nu}, \quad (1.47)$$

где d_{cp} – средний размер пор фильтрующей перегородки.

ν – кинетический коэффициент вязкости; м²/с.

Для текстильных материалов, изменяющих при сжатии в широких пределах свою пористость, более удобной является формула, предложенная В.Н. Щелкачевым [39]:

$$\text{Re} = \frac{10 \cdot v \cdot \sqrt{k_n}}{\Pi^3 \cdot \nu}, \quad (1.48)$$

В этом случае $R_{kp} \leq 15$.

Применимость закона Дарси для различных волокнистых сред подтверждена результатами работы [40].

В химической технологии при определении гидравлического сопротивления сжигаемых осадков широко применяется формула Козени-Кармана [42].

$$k_n = \frac{\Pi^3}{5S_0(1-\Pi)^2}, \quad (1.49)$$

где S_0 – удельная поверхность частицы среды.

Оказывается однако, что при средней плотности материала выше 0,35 г/см³ уравнение Козени - Кармана непригодно для определения сопротивления волокнистых материалов даже при наличии корректирующих констант. Получаемые расхождения вызваны, вероятнее всего, понижением корреляции между переменными и продольными размерами пор,

свойственной волокнистым средам. В предположении, что между гидравлическим сопротивлением слоя и истинной скоростью движения жидкости или газа (воздуха) в его порах (то есть $V_n = V / \Pi$) профессором В.Б. Кленовым была получена формула для коэффициента проницаемости волокнистых сред [42]:

$$k_n = 3,17 \cdot 10^{-3} k \sqrt{\frac{T}{\gamma}} \frac{1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_n}\right)}{\left(\frac{\gamma}{\gamma_n}\right)^2}, \quad (1.50)$$

где k – параметр, определяемый из опыта;

T – линейная плотность нити, намотанной на перфорированный патрон, текс.

Закон Дарси был установлен для изотропной среды. Но если проницаемость слоя зависит от ориентации волокон, то направление градиента давления может не совпадать с направлением скорости фильтрации. В этом случае связь между компонентными указанных двух векторов определяется тензорным соотношением вида [42]:

$$v_i = -\frac{k_{ij}}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x_j}, \quad (1.51)$$

где k_{ij} – симметричный тензор проницаемости, определяемый геометрией среды.

Согласно гипотезе Н.Е. Жуковского [43]:

$$\text{grad}P = \frac{\gamma_{ж}}{g} \bar{a} - \frac{\mu}{k_n} \bar{v}, \quad (1.52)$$

где $\gamma_{ж}$ – удельный вес жидкости, Н/м³;

\bar{v} – вектор скорости фильтрации;

\bar{a} – вектор ускорения.

Слои текстильного материала при движении через них жидкости или

газа (воздуха) могут изменять объем, форму и структуру, т.е. подвергаться фильтрационным деформациям. Так, например, при очистке запыленного газа (воздуха) происходит уменьшение объема пор намотки или тканей плоских или рукавных фильтров в результате заполнения их частицами пыли пористость последних уменьшается из-за набухания пряжи и т.д. С этой точки зрения большое значение имеет установление зависимостей удельной плотности намотки пористых перегородок фильтров от давления, оказываемого на них фильтруемой суспензией, и от набухания пряжи, из которой они сформированы.

В [44] предложена формула:

$$\gamma = A \cdot P^\alpha, \quad (1.53)$$

где γ – удельная плотность намотки фильтровальной перегородки, г/см³;

P – давление на поверхности слоя, Па;

A, α – параметры, определяемые из опыта.

Однако более удобной представляется формула, предложенная В.И. Будниковым:

$$\gamma = \frac{A}{1 + \frac{B}{C + P}}, \quad (1.54)$$

где A, B, C – константы.

Здесь уже при $P = 0$ имеем:

$$\gamma = \frac{A}{1 + \frac{B}{C}}, \quad (1.55)$$

А при $P \rightarrow \infty$ имеем $\gamma \rightarrow A$.

В.Б. Кленов [45] предложил метод расчета удельной плотности набухшей пряжи и формулу для расчета гидравлического сопротивления

паковок рулонной формы:

$$\gamma_{н.наб} = \gamma_{н.сух} \left(\frac{d_{сух}}{d_{наб}} \right)^2 - \gamma \left[1 - \left(\frac{d_{сух}}{d_{наб}} \right)^2 \right], \quad (1.56)$$

где $\gamma_{н.наб}$ – удельная плотность набухшей нити;

$\gamma_{н.сух}$ – удельная плотность сухой нити;

γ – удельная плотность намотки нити на патрон;

$d_{сух}$ и $d_{наб}$ – соответственно диаметры сухой и набухшей нити.

Если пренебречь сопротивлением пористой перегородки фильтра, то скорость фильтра, то скорость фильтрования может быть определена по формуле:

$$v = \frac{\Delta P}{\mu \cdot \xi_0 \cdot \rho_0 \cdot \frac{V}{S}}, \quad (1.57)$$

Откуда перепад давления на слое осадка:

$$\Delta P = \frac{\mu \cdot \xi_0 \cdot \rho_0 \cdot V \cdot v}{S}, \quad (1.58)$$

Вопрос определения величины удельного сопротивления осадков ρ_0 является основным в теории фильтрования. Способы, позволяющие найти это сопротивление, разделяются на четыре группы.

В способах первой группы удельное сопротивление ρ_0 находят из опытов непосредственно во время фильтрования. Соответствующая методика излагается в работе Жужикова В.А. [46].

В способах второй группы удельное сопротивление осадка находят не в процессе фильтрования, а после образования осадка на фильтровальной перегородке. Применительно к очистке ЖРО более предпочтительными являются способы первой группы, т.к. свойства осадка могут изменяться в процессе разделения суспензий. То же самое можно сказать и о

фильтровании запыленного отходящего газа (воздуха), когда содержание мелкодисперсной радиоактивной пыли в потоке достигает значительной величины.

В способах третьей группы удельное сопротивление осадков выражают как функцию их пористости, удельной поверхности и диаметра частиц. Например, для осадков из частиц глинозема и окиси железа:

$$\rho_0 = \frac{A(1 - \Pi)^{4,5}}{d_{cp}^{1,5} \cdot \Pi^3}, \quad (1.59)$$

где A – постоянный коэффициент;

d_{cp} – средний диаметр частиц.

Способы четвертой группы позволяют учитывать изменения пористости и сопротивления фильтрующих слоев в процессе фильтрования с образованием осадка. Основополагающие принципы этих способов были разработаны Г.М. Знаменским [47]. Он предложил учитывать упругие свойства сжигаемого осадка, исходя из следующего отношения:

$$\Delta d = d_H \frac{\Delta P}{G}, \quad (1.60)$$

где d_H – начальный диаметр частиц;

G – некоторая условная величина, имеющая смысл модуля упругости.

Труды Г.М. Знаменского позволили осуществить переход к рассмотрению условий равновесия элементарных фильтрующих слоев [48] и [49].

Ему удалось установить, что время достижения технического равновесия с ростом сжимающего усилия уменьшается.

Опыты, проведенные с осадками каолина, диатомита и асбеста, показали следующую зависимость между пористостью слоя и давлением:

$$P = P_0 \cdot P^{-C}, \quad (1.61)$$

где P_0 – начальная пористость (для каолина $P_0 = 0,59$);

C – константа (для каолина $C_0 = 0,043$).

Знание пористости P позволило определить:

$$\rho_0 = \frac{A(1-P)^{4,5}}{d_{cp}^{1,5} \cdot P^3}, \quad (1.62)$$

а затем и

$$\Delta P = \frac{\mu \cdot \xi_0 \cdot \rho_0 \cdot V \cdot v}{S}, \quad (1.63)$$

Так были решены задачи по нахождению скорости фильтрования, производительности фильтра и его гидравлического сопротивления.

Способы четвертой группы являются наиболее общими, включающими в себя (при определенных упрощениях) все остальные способы определения удельного сопротивления осадка ρ_0 , что позволяет использовать их при расчете фильтров для очистки ЖРО.

При работе фильтра наблюдается не только образование осадка на фильтрующей перегородке, но и заполнение пор перегородки взвешенными частицами суспензии или аэрозоли (кольматацией). Может происходить вынос взвешенных частиц из под фильтра потоком жидкости или воздуха, т.е. процесс суффозии.

А.Н. Патрашев [50] предлагает в качестве параметра, характеризующего возможность проникновения и задержания частиц отношение усредненного диаметра пор (D_i) к размерам самих взвешенных частиц (d_i):

$$\eta_i = \frac{D_i}{d_i}, \quad (1.64)$$

Было установлено, что для удержания частицы необходимо, чтобы

$\eta_i \leq 6$, в противном случае частицы проносятся фильтрационным потоком за пределы пористого элемента. Поэтому оценка среднего диаметра пор и дисперсионного состава суспензии или пыли в отходящих газах представляет определенный практический интерес.

Относительно причин задержания частиц выдвигаются различные соображения. Так, по Л.Н. Патрашеву, главными силами, воздействующими на твердые частицы, являются силы тяжести, трения и центробежные, появляющиеся в результате искривления поровых каналов. Б.М. Шехтман [51], кроме того, считает обязательным учет влияния физико-химических факторов прилипания частиц взвеси к зернам пористой среды, а затем и к осевшим частицам, образующим дендрилы осадка.

Д.М. Минц [52] рассматривает процесс фильтрации суспензий как суммарный результат изъятия взвешенного вещества из суспензии в следствие адсорбции его частиц к зернами фильтрующего материала и к ранее осевшим частицам и обратного поступления вещества в поток из-за срыва или десорбции частиц и их агрегатов под действием гидродинамических сил.

Осевшие в порах фильтра частицы оказывают, естественно, определенное влияние на дальнейшее протекание процесса фильтрования: они увеличивают истинную скорость движения потока в порах из-за уменьшения размера последних, изменяют структуру (проницаемость) пористой перегородки. Для предотвращения закупоривания пор суспензии перед фильтрованием сгущают в специальных отстойниках или добавляют в нее вспомогательные вещества (диатомит, перлит, асбест, целлюлозу, активированный уголь, древесную муку), препятствующие проникновению твердых частиц в поры фильтровальной перегородки.

1.5. Выбор и оценка свойств исходных волокон и нитей для создания фильтровальных перегородок ТТФ, используемых в атомной энергетике и очистке агрессивных сред

Широкая область использования ТТФ требует решения задач оптимизации выбора исходных волокон и нитей опираясь, как на знание природы их свойств, так и на результаты предварительных испытаний и исследований.

Качество разделения систем при фильтровании агрессивных «грязных» сред и производительность фильтров зависят не только от физических и химических свойств фильтруемых продуктов и технологических условий процесса фильтрования, но и от того, какой фильтровальный материал используется. Поэтому выбор волокнистого материала, его проектирование и изготовление в большинстве случаев имеют решающее значение.

В целом все эти процессы можно разделить на несколько основных видов:

- фильтрование суспензии с образованием из отделяющихся частиц твердой фазы значительного слоя осадка (наиболее частый случай в промышленном фильтровании СОЖ - смазывающе-охлаждающих жидкостей применяемых при металлообработке);
- осветление растворов от загрязняющих их тонкодисперсных частиц твердой фазы (от ОТВС) или улавливание из отходящих вод ценной твердой фазы (при очистке технических растворов, сточных вод и т.д.);
- очистка воздуха и фильтрование технологических газов, дымов (пылеулавливатели).

При эксплуатации фильтровальные перегородки ТТФ могут подвергаться, в зависимости от характера и интенсивности приложенных к ним сил со стороны обрабатываемой среды, растяжению и сжатию, изгибу и сдвигу, действию сил трения, химическим, радиоактивным и тепловым воздействиям. Поэтому к волокнам из которых вырабатывают нити для ТТФ

предъявляются следующие требования:

- волокна должны обладать достаточной радиоактивной стойкостью;
- волокна и нити должны быть малой линейной плотности (чем тоньше волокна, тем выше фильтровальные свойства перегородки);
- волокна должны обладать достаточной физико-механической, химической и тепловой устойчивостью;
- в пряже отдельные волокна должны быть прочно закреплены, т.к. слабо закрепленные волокна могут вымываться в процессе фильтрования;
- в случае если осадок, получаемый при фильтровании, является ценным продуктом и наличие в нем волокон не желательно, пряжа должна иметь гладкую поверхность, обладать достаточной ровнотой по линейной плотности и высокой круткой. Если же ценным продуктом является фильтрат, то пряжа (нить) должна быть малой крутки, иметь шероховатую, ворсистую поверхность;
- волокна не должны иметь пороков, посторонних примесей, так как это всегда приводит к повышенной проницаемости фильтровальной перегородки.

Как показывает опыт отечественных и зарубежных исследований в качестве фильтровальных перегородок ТТФ чаще всего используются равновесные нити из углеродных, полиакрилонитрильных, полиэфирных, поливинилхлоридных, капроновых и полипропиленовых волокон [53].

Так для очистки растворов (отходов ОТВС) горючесмазочных материалов и т. д., целесообразно выбирать нити, волокнистый состав которых соответствует требованиям и условиям процесса. Здесь чаще других волокон используются полиакрилонитрильные волокна - (нитрон) - отличается многими ценными свойствами. По устойчивости к световому и атмосферным воздействиям оно превосходит многие другие виды волокон. Нитрон устойчив к воздействию агрессивных сред (кислот и щелочей средней концентрации), а так же обычных органических растворителей, к

разрушающему воздействию плесени и микроорганизмов. Он же не подвержен повреждению молью. По внешнему виду волокно имеет шерстоподобную структуру, оно эластично, однако будучи мягким и пушистым как шерсть превосходит его по прочности (35-40 Сн/текс при удлинении 12÷25%). Именно это обстоятельство ставит нитрон в ряд наиболее прочных синтетических волокон. Плотность волокна составляет 1,17 г/см³, а прочность одинакова в сухом и мокром состоянии.

К недостаткам нитроновых волокон следует отнести низкую прочность к истиранию;

Полиэфирные волокна - (лавсан) - дешевое волокно, упруг, эластичен устойчив к изгибу и смятию. По многим показателям превосходит другие синтетические волокна. Важно подчеркнуть его устойчивость к действию пониженных (до -70°C) и повышенных (до +175°C) температур, к действию большинства кислот, окислителей, восстановителей, органических растворителей и нефтепродуктов. Разрушается лавсан лишь в горячих растворах щелочей. Он устойчив к истиранию. Они почти не поглощают влаги, не повреждаются молью, плесенью, гнилистыми микроорганизмами. Однако данные волокна имеют ряд серьезных недостатков, таких как: низкая термостойкость (их усадка начинается уже при температуре 70-75°C); ненабухаемость в воде (но высокая гидрофобность, благодаря ей облегчается электростатическое притяжение мельчайших частиц пыли, и тем самым повышается эффективность фильтрации; низкая разрывная прочность (12-15 Сн/текс);

Капроновые волокна - обладают высокой устойчивостью к истиранию и многократным деформациям изгиба и сжатия, большой прочностью в сухом и мокром состоянии (при удлинении 24%). В нормальных условиях волокна поглощают 4,5% влаги; степень набухания при замачивании водой равна 13-14% от первоначального объема (для хлопка 40-45, а вискозных нитей 80-110%). Устойчивость к действию большинства органических растворителей и химических агентов (щелочей) сочетается со слабой

устойчивостью к действию концентрированных кислот и окислителей. Капроновые волокна растворяются в феноле, крезоле, трихлорэтаноле.

Размягчаются они при температуре 170-180°C, а при температуре 215°C плавятся. Особенно следует отметить устойчивость к действию микроорганизмов;

Полипропиленовые волокна - капрон обладают высоким коэффициентом трения, благодаря чему имеют малую склонность к пилингу и переработка с другими видами волокон не вызывает затруднений.

Полипропиленовые волокна имеют низкий удельный вес по сравнению с другими волокнами ($0,9 \div 0,92 \text{ г/см}^3$), поэтому как волокна, так и ткани из них погруженные в воду всплывают на ее поверхность. Гидроскопичность волокон практически равна нулю, поэтому они не теряют прочности в мокром состоянии. Обладают хорошими электроизоляционными свойствами, высокой химической стойкостью. Полипропиленовые волокна морозостойки, обладают хорошими эластическими свойствами.

Недостатком полипропиленовых волокон является низкая термо и теплостойкость. При температуре 140°C волокно размягчается, а при 100°C теряет (обратимо) свыше 40% прочности, поэтому использование данных волокон при температуре более 100°C затруднено. Волокна толщиной 0,33-0,111 текс целесообразно использовать для изготовления пряжи для фильтров предназначенных для очистки питьевой воды, при этом следует в качестве замасливателей (при подготовке пряжи) использовать «Рицинокс К-д» - неионогенный токсикологически безопасный продукт переработки касторового масла с достаточно высокой степенью биологической разлагаемости в сточных водах. Волокна и нити из полипропилена нерастворимы в серной кислоте и многих органических растворителях, частично растворимы в моноклорбензоле.

Данные нити целесообразно использовать в ТТФ при очистке вод от радиоактивных отходов. В дальнейшем необходимо определить радиационную стойкость фильтрующего материала.

1.6. О современных конструкциях фильтров и их дальнейшем совершенствовании, используемых при очистке РАО

Для удаления грубодисперсных примесей, разделения жидкой и твердой фазы применяют фильтрование воды через пористую среду. Механическое фильтрование воды осуществляют путем пропускания ее через какое-либо пористое вещество называемое фильтрующим материалом. Поступающая на такой фильтр под некоторым напором мутная вода просачивается через поры фильтрующего материала, а содержащиеся в воде взвешенные вещества задерживаются на поверхности и в порах фильтрующего материала. При этом на фильтрующем материале частично сорбируются радиоактивные изотопы.

Эффективность процесса фильтрования зависит от физико-химических свойств примесей воды и фильтрующего материала, а также от скорости фильтрования.

По способу создания напора воды, необходимого для преодоления возникающих при фильтровании сопротивлений, различают фильтры напорные и безнапорные.

Безнапорные (малой удельной производительности) работают за счет разности отметок поверхности воды в фильтре над загруженным в него материалом и пьезометрического напора в отводящем фильтрат трубопроводе.

Напорные (большой удельной производительности) работают за счет давления воды, создаваемого насосом или напорным резервуаром.

По характеру фильтрующего материала осветлительные фильтры разделяются на:

- зернистые – загружаемые песком, дробленным кварцем, дробленным антрацитом, мраморной крошкой и др.;
- сетчатые – применяемые для грубой очистки в системах водоснабжения;

- текстильные – применяются для грубой и тонкой очистки жидких радиоактивных отходов;
- с фильтровальными набивными или намывными элементами – содержат фильтрующий или сорбирующий материал.

По скорости фильтрования механические фильтры разделяются на:

- медленные (открытые) со скоростью фильтрования 0,5 м/ч и меньше;
- скорые (открытые и напорные) со скоростью фильтрования 5-10 м/ч;
- сверхскоростные (напорные) со скоростью фильтрования 25 м/ч и больше.

Механические фильтры нашли широкое применение в обращении с жидкими радиоактивными отходами.

На рисунке 1.2 произведена классификация фильтров по виду неоднородной системы, которую они разделяют, по принципу работы, и по принципу создания перепада давления на фильтрующей перегородке.



Рисунок 1.2 Классификация фильтров

Основными составными частями фильтра является корпус и

фильтрующий элемент (фильтровальная перегородка). В зависимости от конструкции фильтрующих перегородок фильтры разделяют на щелевые, сетчатые и пористые.

Фильтры, в которых жидкость очищается при прохождении через щели в фильтрующем пакете, называются щелевыми.

Фильтры, в которых жидкость очищается при прохождении через ячейки сетки фильтроэлемента, называют сетчатыми. В качестве фильтровального материала в сетчатых фильтроэлементах наибольшее распространение получили металлические (никелевые) сетки полотняного и саржевого переплетений.

Фильтры, в которых жидкость очищается при прохождении через поры фильтроэлемента, называют пористыми. Пористые фильтры разделяют на поверхностные (в них частицы задерживаются на поверхности фильтрования) и глубинные (частицы задерживаются в порах материала). В первых в качестве фильтровального материала применяют бумагу, картон, реже ткань, во вторых – пористый порошковый материал и пористую пластмассу.

Бумажные фильтроэлементы получили широкое распространение из-за низкой стоимостью других элементов. К их недостаткам относится невысокая прочность бумажного фильтровального материала и возможность его разбухания. Указанные недостатки частично устраняются при пропитке бумаги спиртовым раствором бакелитового лака.

Металлопорошковые фильтроэлементы изготавливают спеканием металлических порошков под давлением. Металлопорошковые фильтроэлементы обладают по сравнению с бумажными фильтроэлементами повышенной (в 3-5 раз) грязеемкостью, но имеют меньшую удельную пропускную способность, что требует увеличения эффективной поверхности фильтроэлемента. Пористый порошковый материал допускает механическую обработку, сварку, поэтому из него можно получать фильтроэлементы любой формы. Прокаткой порошкового материала можно получать фильтроэлемент

с меньшими размерами фильтрующих пор.

Необходимую площадь рабочей (эффективной) поверхности фильтроэлемента рассчитывают по формуле:

$$S = \frac{Q \cdot \mu}{q \cdot \Delta P \cdot k}, \quad (1.64)$$

где Q – расход жидкости через чистый фильтроэлемент, м³/с;

ΔP – перепад давлений на фильтроэлементе, Па;

μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с;

k – коэффициент засоряемости, принимаемый равным 0,5 - 0,75;

q – удельный расход жидкости через фильтроэлемент, м.

Определим величину q :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{\Delta P}{\mu \cdot R_{\phi n}}, \quad (1.65)$$

$$S = \frac{Q \cdot \mu \cdot R_{\phi n}}{\Delta P}, \quad (1.66)$$

Следовательно:

$$\frac{1}{qk} = R_{\phi n} \text{ и } q = \frac{1}{kR_{\phi n}}, \quad (1.67)$$

В настоящее время широкое применение для очистки РАО находят фильтры, фильтровальные перегородки которых сформированы из текстильных тканых и нетканых материалов, фильтры Петрянова, стекловолоконные фильтры, иглопробивные фильтры, фильтры с многослойной кремнеземной текстурированной тканью в основном такие материалы применяются для очистки газовых сред [54, 55, 56].

Большой интерес представляет трубчатые текстильные фильтры, пористые перегородки которых сформированы путем наматывания нити на перфорированное основание (патрон). Очевидно, эти фильтры обладают

меньшим весом по сравнению со всеми перечисленными видами пористых фильтров. На пористой перегородке их могут быть образованы поры любой формы и размеров.

Рабочая (эффективная) поверхность трубчатых текстильных фильтров (а, следовательно и производительность) может достигать сколько угодно большой величины.

Фильтры могут классифицироваться и по другим признакам. Так, например жидкостные фильтры по своей конструкции подразделяются на емкостные, рамные, камерные, патронные, барабанные, ленточные, тарельчатые, карусельные. Воздушные фильтры могут быть сетчатыми, барабанными, рамными, рукавными, рулонными. Конструкция фильтра определяется толщиной фильтрации δ , номинальным давлением $P_{ном}$, номинальным расходом жидкости $Q_{ном}$, допустимым перепадом давления на фильтроэлементе.

Под номинальной толщиной фильтрации понимают минимальный размер частиц, задерживаемых фильтроэлементом, число которых составляет не менее 90% от числа частиц загрязнителя такого же размера, находящегося в неотфильтрованной жидкости. Установлен ряд номинальных толщин фильтрации: 1, 2, 5, 10, 16, 25, 40, 63 и 80 мкм (ГОСТ 14066-68). В зависимости от номинальной толщины фильтрации можно условно выделить фильтры грубой (свыше 15 мкм), нормальной (до 10 мкм) и тонкой (до 1 мкм) очистки.

Пластинчатые щелевые фильтры очищают жидкость до $\delta = 80...120$ мкм, а проволочные щелевые фильтры до $\delta = 40...10$ мкм.

Бумажные пористые фильтры производят нормальную очистку жидкости ($\delta = 6$ мкм).

Под номинальным расходом фильтрата понимают расход жидкости, проходящей через фильтр с чистым фильтроэлементом при определенной вязкости и заданном перепаде давлений на фильтре.

Графическую зависимость (рисунок 1.3) перепада давлений от расхода

жидкости, проходящей через фильтр $\Delta P = f(Q)$ называют гидравлической

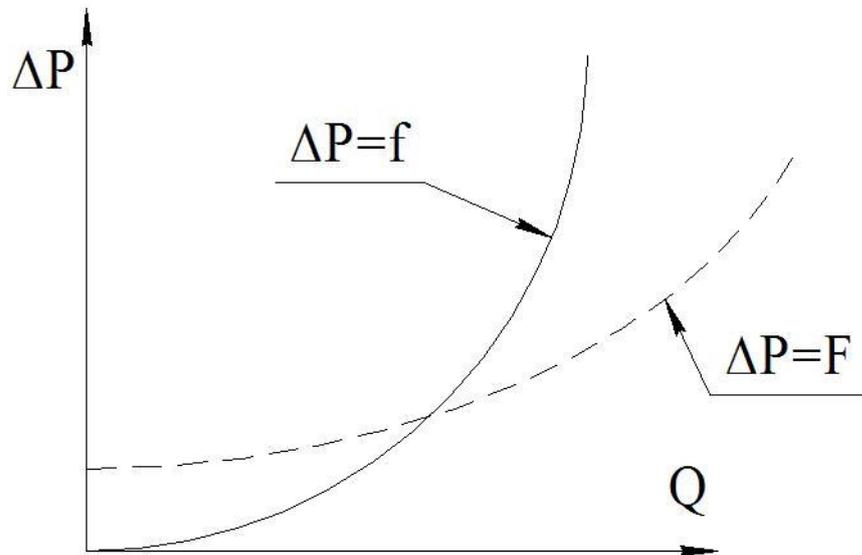


Рисунок 1.3. Гидравлическая характеристика фильтра.

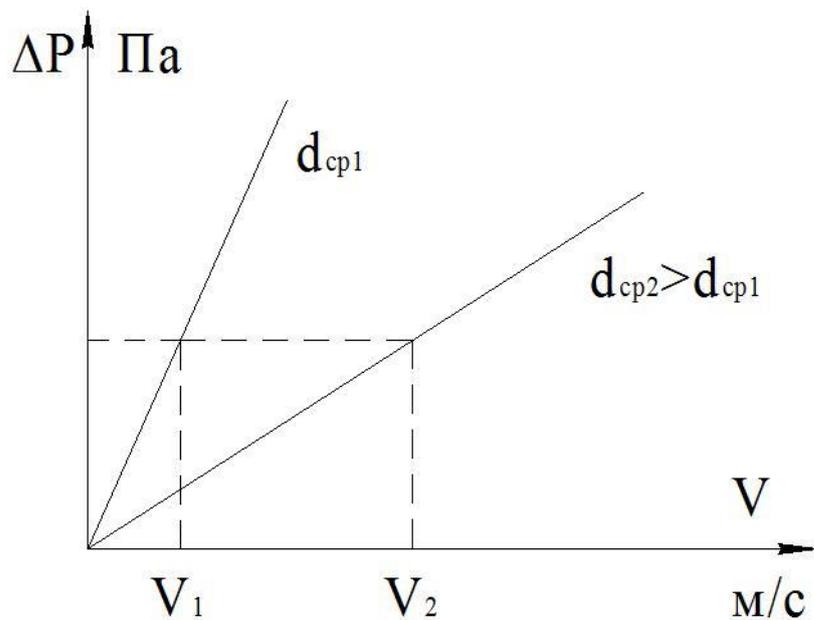


Рисунок 1.4. Зависимость гидравлического сопротивления фильтра от скорости фильтрации и среднего размера пор.

характеристикой фильтра. Перепад давлений на фильтроэлементе зависит от степени загрязнения фильтрующей перегородки во время работы фильтра. Чем больше фильтр находится в работе, тем больше он засоряется. При этом перепад давлений увеличивается с увеличением времени фильтрования t , т.е. $\Delta P = f(t)$.

Большой интерес представляет так же зависимость перепада давления от скорости фильтрации (рисунок 1.4).

Лучшими гидравлическими свойствами обладают фильтровальные материалы, у которых значительное увеличение скорости фильтрации не связано с резким возрастанием перепада давлений. Значительный перепад давлений вызывает повышение расхода электроэнергии на фильтрацию и может привести к порче (пробою) пористой перегородки фильтра.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Анализ литературных источников по теме диссертации подтвердил актуальность проблемы, отметил ее практическую ценность и значимость.
2. РАО классифицируются по виду, активности и радионуклидному составу в зависимости от этого выбирается метод обращения с ними. Основным видом радиоактивных отходов являются жидкие радиоактивные отходы, изыскание новых методов обращения с ними является актуальной задачей.
3. Одним из основных видов обращения с ЖРО является механическое фильтрование необходимое для их осветления и разделения жидкой и твердой фазы.
4. Теоретические исследования показывают целесообразность использования текстильных фильтров с трубчатой фильтровальной перегородкой.
5. Дальнейшее исследование связано с определением данных выводов, поиском новых эффективных фильтрующих материалов.

ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ НАМОТКИ ТРУБЧАТЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ (ТТФ), ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ОЧИСТКЕ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Для эффективного действия фильтра решающее значение имеет выбор оптимальной структуры фильтровальной перегородки. Как отмечалось в предыдущей главе в качестве фильтровальных перегородок при очистке различных сред могут быть изготовлены из различного вида тканей, войлоков, нетканых полотен, трикотажа и т.д. Однако все текстильные фильтры можно разделить на два типа:

1. Плоские (ПТФ);
2. Трубчатые (ТТФ).

Несмотря на эти различия любая фильтровальная перегородка должна обладать следующими свойствами:

- способностью хорошо задерживать твердые частицы;
- небольшим гидравлическим сопротивлением;
- возможностью легко отделять осадок;
- достаточной механической прочностью;
- стойкостью к химическому воздействию разделяемых сред;
- теплостойкостью;
- низкой стоимостью.

Исходя из данных требований наиболее оптимальными пористыми перегородками следует считать не плоские, а трубчатые текстильные фильтры сформированные однопроцессным способом - намоткой нити (нитевидного материала) на перфорированный патрон требуемых размеров. Для доказательства вышесказанного рассмотрим этот вопрос более подробно в данной главе.

2.1. Формирование пористых перегородок с помощью намотки трубчатых текстильных фильтров

Несмотря на то, что основным достоинством плоских текстильных фильтров (ПТФ) является то, что они обеспечивают одну и ту же скорость движения фильтрата по всей толщине фильтрующей перегородки, что обуславливает равномерное распределение давления по толщине фильтрующей перегородки и, следовательно, уменьшает возможность его порчи (пробоя) из-за местного увеличения давления, к недостаткам плоских текстильных фильтров следует отнести:

- сложность конструкции и дороговизну изготовления;
- сложность удаления осадка с пористой перегородки;
- большие габариты по сравнению с ТТФ при одинаковой производительности (при одинаковом фильтрационном расходе), что особенно важно для авиа и автомобилестроителей.

Рассмотрим схемы фильтровальных перегородок ПТФ (рисунок 2.1) и ТТФ (рисунок 2.2) и графики изменения скорости прохождения фильтрата через пористую перегородку при одинаковых условиях.

Пусть фильтрационный расход жидкости составляет Q м³/с. Тогда в случае плоского текстильного фильтра скорость движения жидкости через фильтровальную перегородку:

$$V = \frac{Q}{S} = const, \quad (2.1)$$

где S – площадь фильтровальной перегородки, м².

В случае трубчатого текстильного фильтра (рисунок 2.2):

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{2\pi \cdot r \cdot H} \neq const, \quad (2.2)$$

где r – текущий радиус намотки пористой перегородки, м;

H – высота пористой перегородки, м.

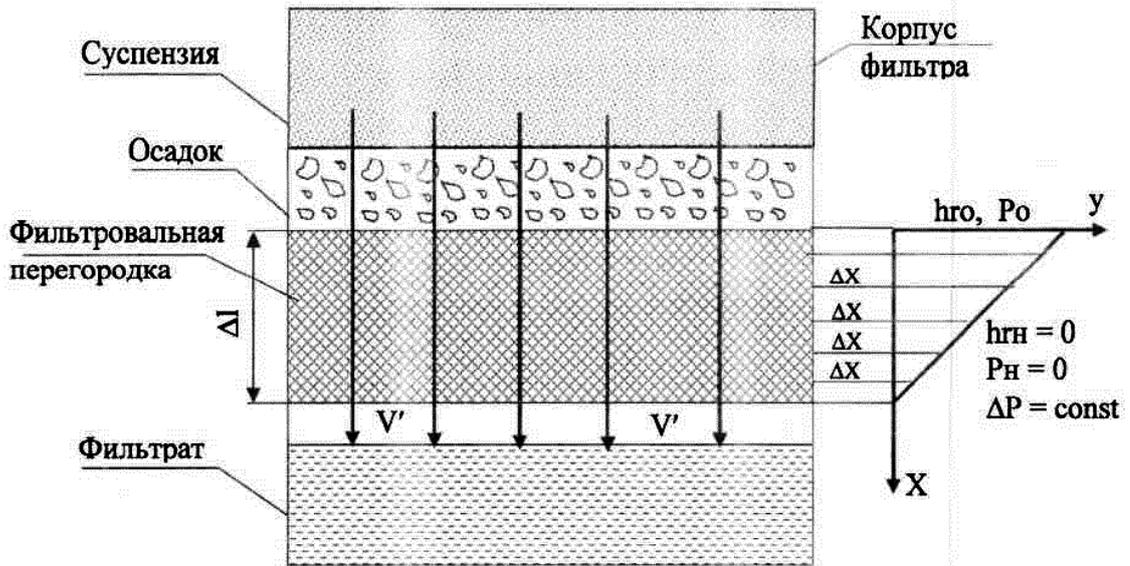


Рисунок 2.1. Схема фильтра с плоской перегородкой

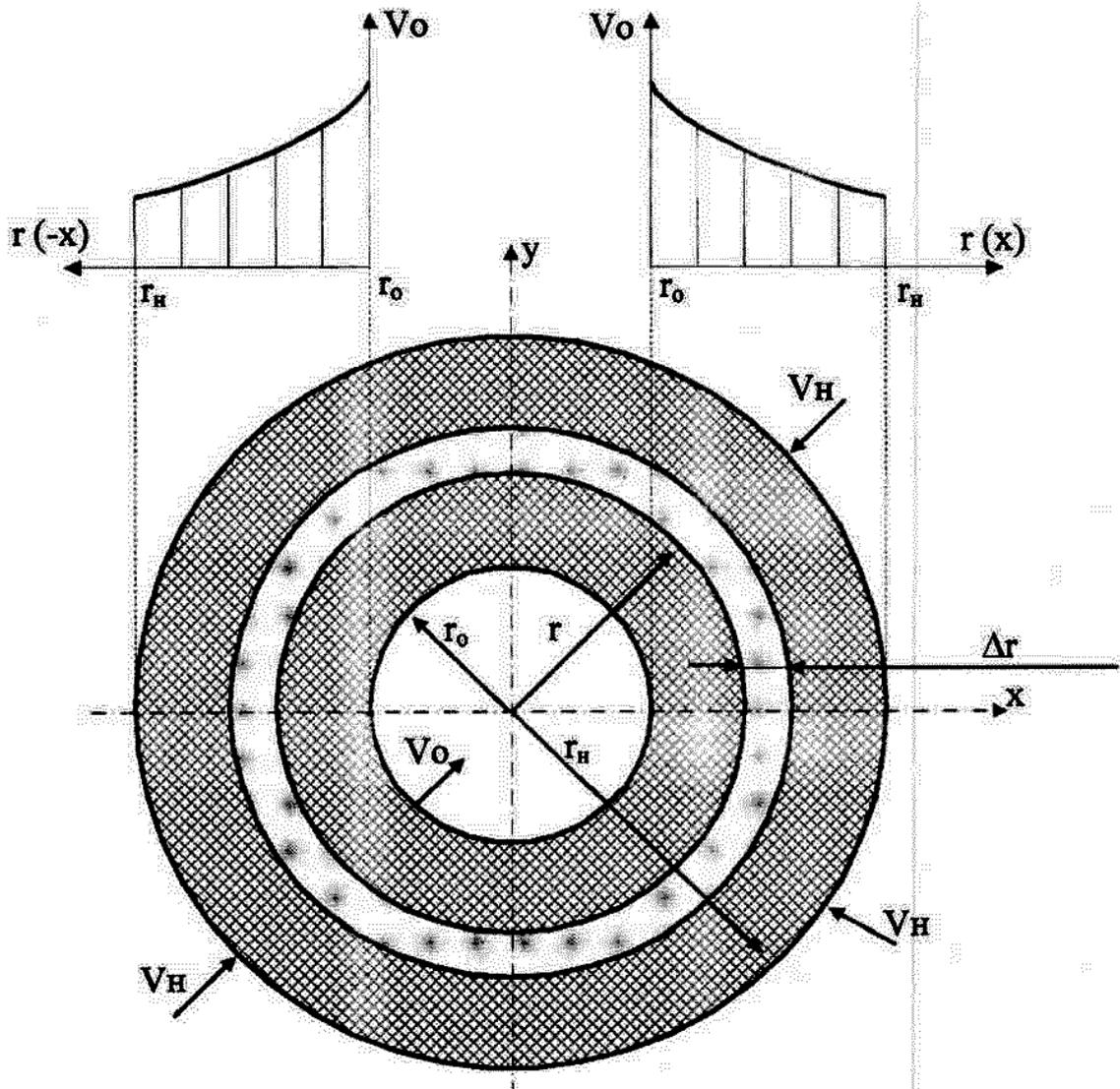


Рисунок 2.2. Схема фильтра с цилиндрической (трубчатой) перегородкой (ТТФ)

Как показывают графики изменения скорости фильтрации в зависимости от толщины фильтровальной перегородки, совмещенные с рисунками 2.1 и 2.2 скорость движения жидкости в трубчатых текстильных фильтрах гипперболически уменьшается по мере увеличения текущего радиуса перегородки.

В трубчатых текстильных фильтрах подвод фильтруемой жидкости (суспензии) осуществляется на внешнюю поверхность фильтровальной перегородки, что существенно облегчает условия удаления осадка с ее поверхности отмоткой наиболее загрязненных слоев и, следовательно увеличивает срок службы фильтров (даже без регенерации).

Во всех случаях фильтровальная перегородка должна обладать большой проницаемостью, то есть легко пропускать через себя фильтруемые жидкости (суспензии), и в тоже время обеспечивать требуемую тонкость фильтрации.

Если фильтровальная перегородка обладает малой проницаемостью (большим гидравлическим сопротивлением), то для обеспечения требуемой скорости (производительности фильтра) необходимо поддерживать слишком большой перепад давлений на внешней и внутренней поверхности фильтровальной перегородки. Данное обстоятельство приводит к увеличению расхода электроэнергии на процесс фильтрации или даже вызвать порчу фильтровальной перегородки - «пробой». В этом отношении преимуществом обладают не плоские фильтровальные перегородки (ПТФ), а трубчатые текстильные фильтры (ТТФ).

В настоящее время нашими учеными текстильщиками В.П. Зайцевым, И.Н. Паниным разработаны различные виды и структуры намотки нитей на паковки [57], т.е. сомкнутые, замкнутые, слоисто-каркасные, застильные и т.д. Такое многообразие структур намотки позволяет использовать их в качестве фильтрующих перегородок ТТФ. Пористость, а следовательно, и проницаемость таких перегородок можно легко изменять в широких пределах путем формирования на перфорированных патронах намоток

различного вида, а также их комбинаций.

Наиболее плотные намотки (замкнутые) могут успешно использоваться при создании фильтрующих перегородок для тонкой очистки суспензий (воды, топлива, масел, газов и т. д.).

Однако, следует отметить, что не всегда требуется тонкая очистка растворов от различных взвешенных в них частиц.

Например, при производстве кинескопов цветных телевизоров наносимую на внутреннюю сторону экранов суспензию требуется очистить от частиц большого размера и пропустить мелкие. В этом случае целесообразно применять в качестве фильтрующих перегородок ТТФ слоисто-каркасные и замкнутые намотки нитей на перфорированный патрон.

2.2. Влияние вида намоток на пористость фильтровальных перегородок ТТФ

Из работы [30] известно, что проникновение фильтрата через фильтрующую перегородку может происходить по трещинам и порам, то проницаемость любого фильтра зависит от пористости фильтровальной перегородки, которая определяется объемом пор в единице объема теле фильтра и выражается формулой:

$$П = \frac{V_{пор}}{V}, \quad (2.3)$$

где $V_{пор}$ – объем занимаемый порами в объеме фильтровальной перегородки;

V – объем фильтровальной перегородки.

Поскольку мы рассматриваем трубчатые текстильные фильтры, в которых в качестве фильтровальных перегородок используются намотки нити на перфорированные патроны при различной структуре расположения нитей, то целесообразнее всего пористость фильтровальных перегородок выразить через удельную плотность намотки нити на паковку.

Удельная плотность намотки пористой перегородки:

$$\gamma = \kappa_3 \cdot \gamma_n, \quad (2.4)$$

где κ_3 – коэффициент заполнения объема пористой перегородки нитевидным материалом (нитью);

γ_n – плотность нити г/см³.

Масса нити в объеме фильтровальной перегородки:

$$G = \gamma \cdot V = \gamma_n \cdot V_n, \quad (2.5)$$

где V_n – объем, занимаемый нитями в объеме фильтровальной перегородки.

Очевидно, что:

$$V = V_{нф} + V_n, \quad (2.6)$$

и

$$V_n = V \cdot \kappa_3 = V \frac{\gamma}{\gamma_n}, \quad (2.7)$$

Тогда:

$$V_{ноп} = V - V_n = V - V \cdot \kappa_3 = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_n}, \quad (2.8)$$

Пористость фильтровальной перегородки:

$$П = \frac{V_{ноп}}{V} = 1 - \kappa_3 = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_n}, \quad (2.9)$$

Следовательно, из формулы 2.9 видно, что для увеличения пористости фильтровальной перегородки (а значит и проницаемости ТТФ) представляющей собой намотку нити на перфорированный патрон, необходимо выбирать мотальные паковки, структура которых имеет более низкую плотность намотки.

Известно также [58], что максимальной плотностью намотки нитей на паковку (а, следовательно, наименьшей проницаемостью) обладают сомкнутые намотки, для которых

$$\gamma = \frac{1}{c^2}, \quad (2.10)$$

где c – коэффициент характеризующий рыхлость пряжи (нити).

Подставив выражения 2.10 и 2.11 в формулу 2.9 получим значение пористости для сомкнутой структуры намотки фильтровальных перегородок.

$$\gamma_n = \frac{4}{\pi \cdot c^2}, \quad (2.11)$$

Следовательно, пористость сомкнутых намоток постоянна и не зависит от вида волокнистого материала.

Поскольку все иные виды намоток (замкнутые с различной степенью замыкания) имеют меньшую удельную плотность намотки γ , чем сомкнутая намотка, то они следовательно имеют большую пористость (проницаемость) фильтровальных перегородок определяемую размерами пор (ячеек) в их структуре, которая в свою очередь зависит от степени замыкания намотки – P .

Плотность намотки фильтровальных перегородок имеющих замкнутую структуру может быть определена по формуле:

$$\gamma = \frac{2 \cdot T \cdot P}{h \cdot \delta \cdot 10^5 \cos \frac{\beta}{2}}, \quad (2.12)$$

где T – линейная плотность нити, текс;

P – степень замыкания намотки, или число двойных ходов нитеводителя по истечении которого витки $P+1$ ой пары слоев намотки пойдут по виткам первой пары слоев (т.е. намотка замкнется);

h – шаг витка на поверхности намотки, см;

δ – толщина объемного слоя, см;

β – угол скрещивания витков.

Из формулы 2.12 видно, что удельная плотность намотки фильтровальной перегородки будет главным образом зависеть от степени замыкания намотки P . Чем меньше мы возьмем значение P , тем с меньшей величиной удельной плотности намотки сформируется фильтровальная перегородка, а следовательно проницаемость ее будет большей.

Для проверки теоретических выводов нами был проведен эксперимент по определению проницаемости мотальных паковок имеющих различную степень замыкания намотки P , сформированных из х/б и полипропиленовой

пряжи линейной плотности соответственно для x/\bar{b} $T = 25$ текс и $T = 330$ текс, при различных диаметрах намотки фильтровальных перегородок - D (и постоянном заправочном натяжении нитей $K=20$ сН. Паковки формировались на модернизированной мотальной машине «Бандомат» с механизмом обеспечивающим изменение степени замыкания намотки – P за счет смены шестерен Z_5 и Z_6 - т.е. величины передаточного отношения между веретеном и кулачком нитеводителя, рисунок 2.3.

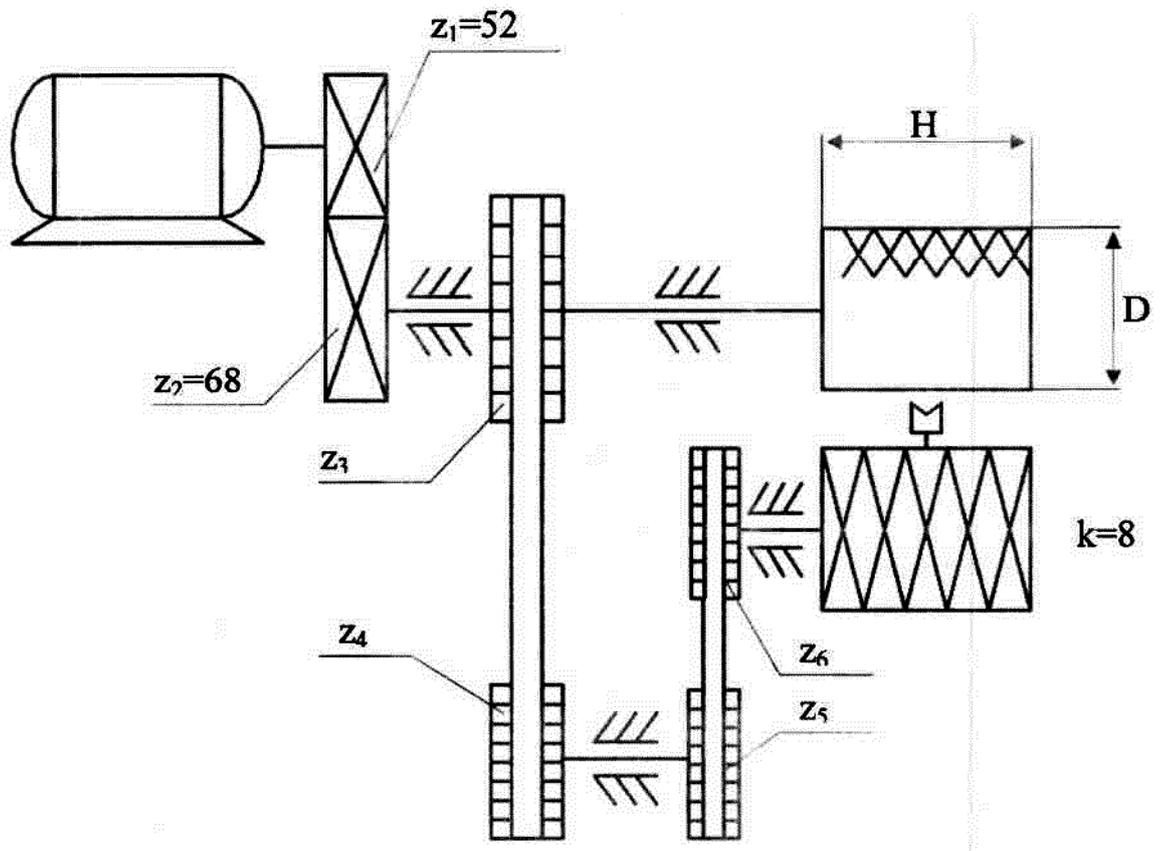


Рисунок 2.3. Кинематическая схема модернизированной мотальной головки машины «Бандомат»

Пористость намоток определялась путем обмера сформированных паковок (определения их объема, массы и удельной плотности намотки – γ). По результатам эксперимента был построен график изменения фактической пористости замкнутых намоток от степени их замыкания (рисунок 2.4).

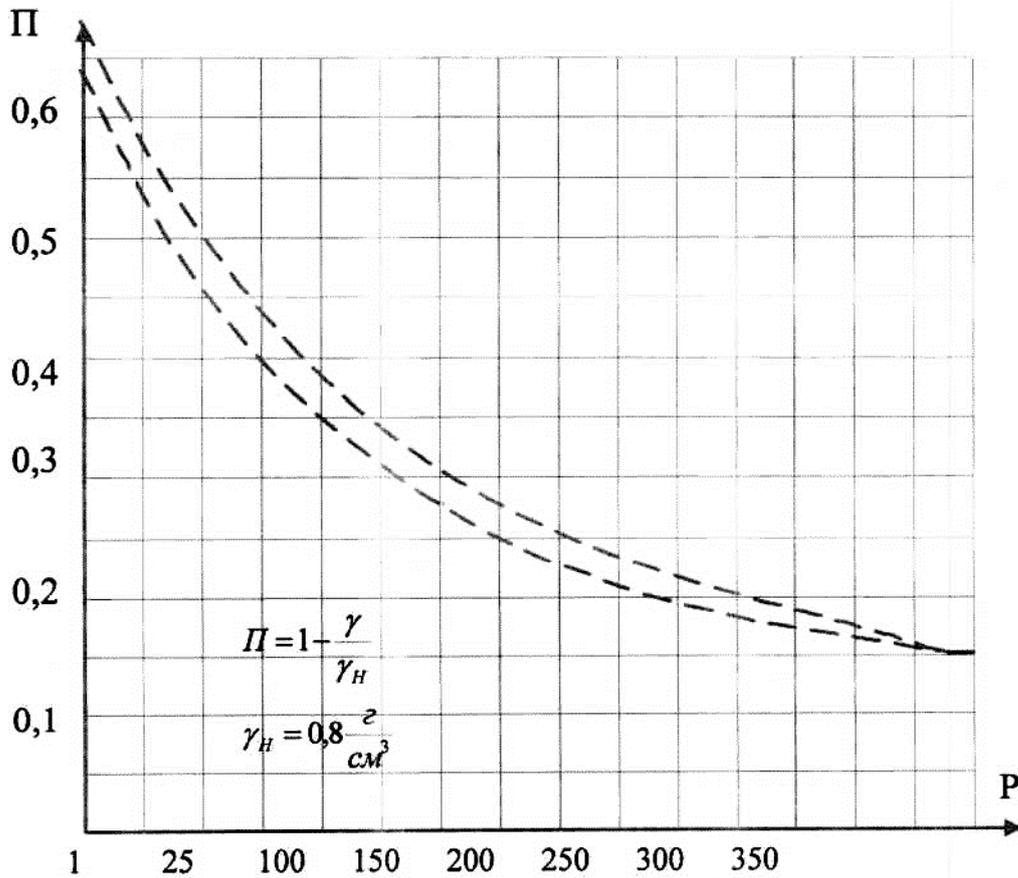


Рисунок 2.4. Зависимость пористости замкнутых намоток от степени замыкания

Экспериментальные данные сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1.

$d_n=0,0198$ мм; $T=25$ текс; $c=1,25$; X/б пряжа							
D \ P	1	3	23	105	201	305	
1,5	0,257	0,260	0,344	0,533	0,620	0,636	
10	0,257	0,263	0,338	0,529	0,615	0,628	
15	0,260	0,259	0,321	0,520	0,610	0,622	
20	0,260	0,256	0,316	0,510	0,585	0,622	
$d_n=0,057$ мм; $T=330$ текс; $c=0,98$; полипропилен							
D \ P	1	3	23	105	201	305	
1,5	0,326	0,361	0,541	0,731	0,871	1,010	
10	0,328	0,363	0,540	0,742	0,861	1,003	
15	0,325	0,361	0,539	0,751	0,851	1,001	
20	0,323	0,359	0,537	0,749	0,852	1,002	

Из графика 2.4 видно, что пористость фильтровальных перегородок гиперболические уменьшается по мере увеличения степени замыкания катушки P , стремясь к своему минимальному значению, равному $1 - \pi/4$ сомкнутой катушке.

Проведенные экспериментальные исследования полностью подтверждают ранее сделанные теоретические выводы о пористости фильтровальных перегородок ТТФ.

Вид волокнистого материала определяет степень проницаемости фильтровальной перегородки своим внутренним строением нитей, (наличием межволоконного пространства), однако решающее влияние на проницаемость ТТФ – оказывает степень замыкания катушки – P , т.е. структура катушки нитей на паковке.

Размеры пор между витками замкнутой катушки можно определить рассмотрев рисунок 2.5 и 2.6. При $p > 24$ замкнутые катушки имеют сотовую структуру (ячеистую).

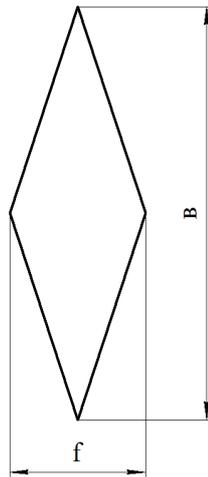


Рисунок 2.5. Размеры ячеек замкнутой (сотовой) катушки.

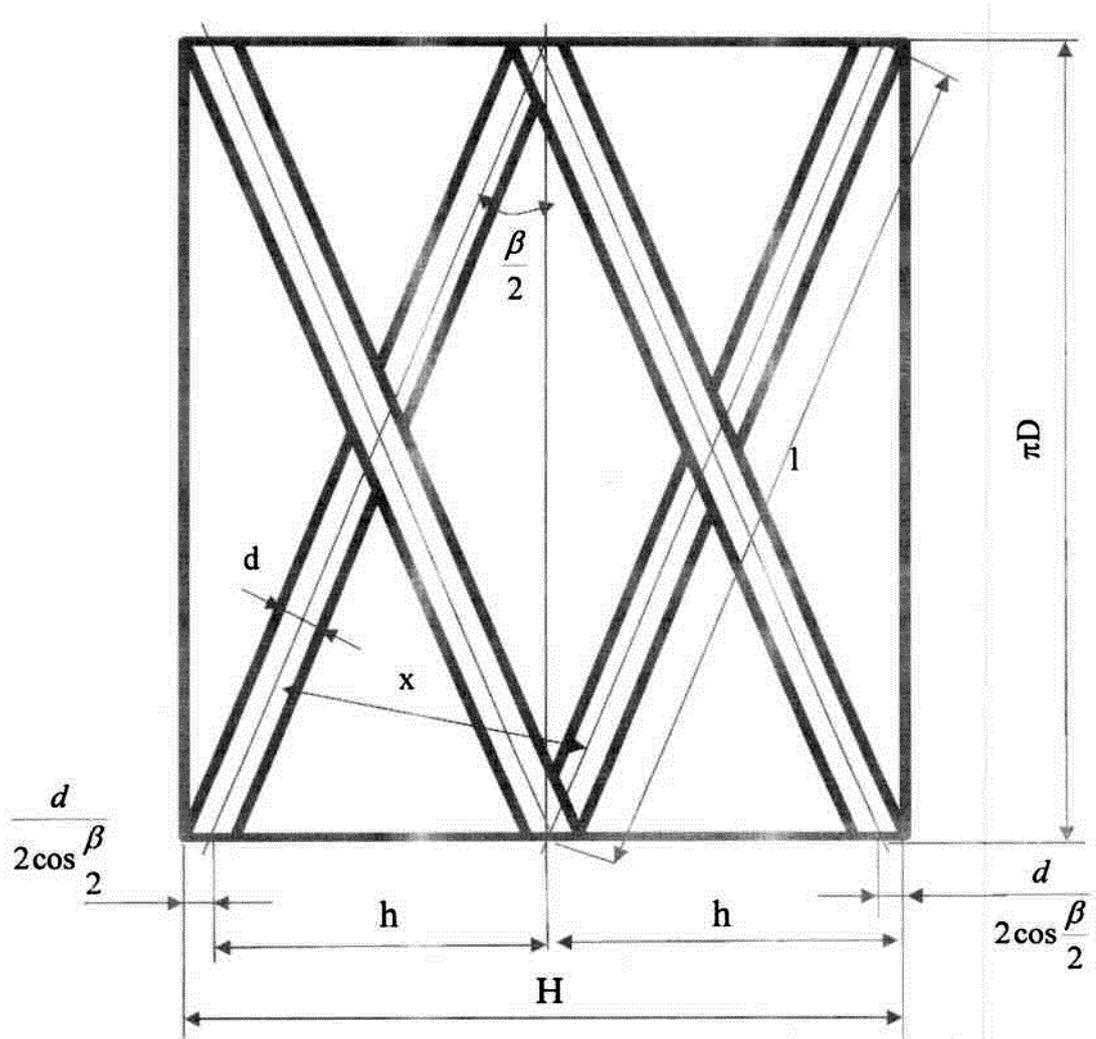


Рисунок 2.6. Развертка однозамкнутой жгутовой намотки.

С увеличением степени замыкания намотки – P число сот возрастает, а их размеры уменьшаются. Высота ячеек сотовой намотки (рисунок 2.5) измеренная в направлении параллели намотки:

$$v = \frac{\pi \cdot D}{P}, \quad (2.13)$$

Ширина ячейки, измеренная в меридианном (осевом) направлении паковки:

$$f = \frac{2 \cdot H}{k \cdot i_0 \cdot p}, \quad (2.14)$$

где i_0 – общее передаточное отношение между веретеном и кулачком нитеводителя.

Рассмотрев рисунок 2.6 видно, что плотность P – замкнутой намотки может быть ориентировочно определена по формуле:

$$\gamma = \frac{T \cdot P}{250 \cdot l \cdot \delta \cdot \sin \beta}, [\text{г/см}^3] \quad (2.15)$$

где T – линейная плотность пряжи;
 δ – толщина места пересечения витков;
 P – степень замыкания намотки.

$$P \leq \left[\frac{x}{d} \right] = \left[\frac{\pi \cdot D \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{d} \right], \quad (2.16)$$

Однако на практике при наматывании замкнутых намоток витки не ложатся один на другой, как показано на рисунке 2.6, а несколько смещаются создавая поры меньшего размера и увеличивая плотность намотки (снижая пористость и проницаемость ТТФ). В этом случае плотность замкнутых намоток удобнее определять по формуле:

$$\gamma = \frac{T \cdot P}{250 \cdot k_y \cdot l \cdot \delta \cdot \sin \beta}, [\text{г/см}^3] \quad (2.17)$$

где k_y – коэффициент, учитывающий увеличение плотности намотки из-за смещения витков относительно друг друга.

Исследования, приведённые выше показывают, что величина k_y зависит от линейной плотности пряжи, удельного давления укатывающего ролика на намотку, натяжения перематываемой нити и степени замыкания намотки P .

При увеличении степени замыкания намотки P коэффициент k_y возрастает, становясь равным единице при сомкнутой структуре намотки,

когда

$$P = \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix}, \quad (2.18)$$

2.3. Определение пористости фильтровальных перегородок от вида намотки

Как отмечалось нами ранее [59, 60] фильтровальные перегородки ТТФ должны обладать заданной пористостью и проницаемостью для обеспечения необходимой производительности и требуемой степени очистки суспензий.

Проницаемостью пористой перегородки фильтра называется ее способность пропускать через себя жидкости и газы. Она зависит главным образом от пористости фильтровальной перегородки, так как проникновение жидкости и газов может происходить по порам и промежуткам между нитями намотки.

Количественно проницаемость может быть охарактеризована скоростью происхождения фильтруемой жидкости сквозь пористую перегородку:

$$B = \frac{V}{F \cdot t}, \text{ [м/с]} \quad (2.19)$$

где V – объем прошедшего через фильтровальную перегородку воздуха или фильтрата, м^3 ;

F – площадь пористой перегородки, м^2 ;

t – время прохождения воздуха или фильтрата, сек.

Следует отметить, что проницаемость будет зависеть и от перепада давлений на фильтровальной перегородке, вязкости фильтрата, и удельный вес фильтрата. В следствие этого проницаемость фильтровальной перегородки удобнее характеризовать коэффициентом фильтрации k_ϕ , создаваемым ею. Согласно закону фильтрации Дарси скорость движения жидкости в фильтрующем слое можно определить по формуле:

$$v = -k_\phi \cdot \frac{\partial h_z}{\partial x}, \quad (2.20)$$

где k_{ϕ} – коэффициент фильтрации;

h_z – гидравлический напор жидкости в слое, находящемся на расстоянии x от места фильтрации;

$\frac{\partial h_z}{\partial x}$ – градиент изменения напора жидкости по направлению фильтрации.

Поскольку перепад давлений на пути фильтрации x равен:

$$\bar{P} = \gamma_{жс} h_z$$

то формулу (2.20) можно записать в виде:

$$v = -\frac{k_{\phi} \cdot \partial \bar{P}}{\gamma_{жс} \cdot \partial x}, \quad (2.21)$$

где $\gamma_{жс}$ – удельный вес фильтрата, Н/м³.

В случае плоской фильтровальной перегородки:

$$g = \frac{k_{\phi} \cdot \bar{P}}{\gamma_{жс} \cdot \Delta l} = const, \quad (2.22)$$

где Δl – толщина пористой перегородки, м.

$$g = \frac{k_{\phi} \cdot \bar{P}}{\gamma_{жс} \cdot \Delta l \cdot \mu} = \frac{\bar{P}}{\mu \cdot R}, \quad (2.23)$$

$$R = \frac{\gamma_{жс} \cdot \Delta l}{\mu \cdot k_{\phi}},$$

где R – гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки

μ – динамическая вязкость фильтруемой жидкости, Па·с.

Наиболее полно проницаемость может быть охарактеризована коэффициентом проницаемости:

$$k_{np} = \frac{\Delta l}{R} = \frac{\mu}{\gamma_{жс}} k_{\phi}, \quad (2.24)$$

Скорость прохождения фильтра в любой точке пористой перегородки плоского текстильного фильтра, стоящей на расстоянии x от места входа фильтрата (рисунок 2.1) может быть определена по формуле:

$$v_x = \frac{k_\phi \cdot \overline{P}_x}{\gamma_{жс} \cdot (\Delta l - x)} = v = const, \quad (2.25)$$

где \overline{P}_x – давление фильтрата в точке, отстоящей на расстоянии x от входа фильтрата.

В этом случае:

$$\overline{P}_x = \frac{v \cdot \gamma_{жс} \cdot (\Delta l - x)}{k_\phi}, \quad (2.26)$$

Давление фильтруемой жидкости равномерно распределяется по толщине пористой перегородки плоского фильтра, что обеспечивает наименьшую вероятность ее повреждения (пробоя) при достаточно высоких давлениях.

В трубчатых текстильных фильтрах (рисунок 2.2) скорость происхождения фильтрата возрастает в направлении уменьшения радиуса намотки фильтровальной перегородки, что ведет к неравномерному распределению жидкости по ее толщине.

Выделим в пористой перегородке ТТФ (рисунок 2.7) элементарный цилиндр высотой H и толщиной d_r .

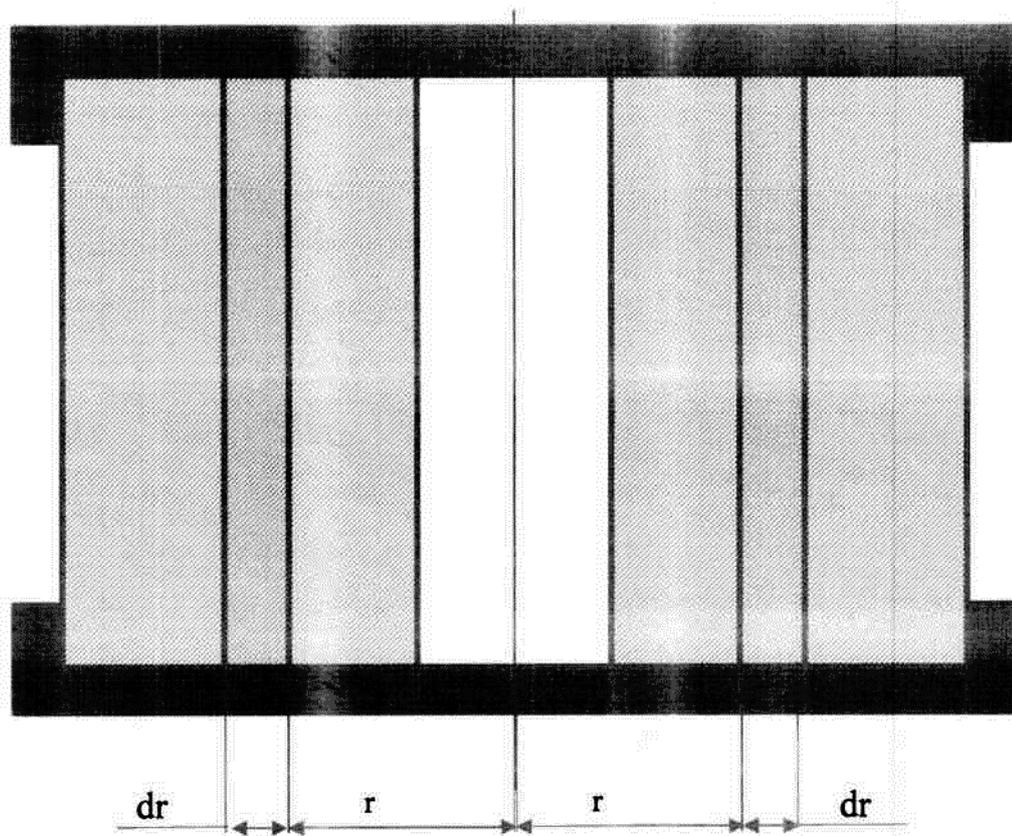


Рисунок 2.7. Разрез пористой намотки трубчатого текстильного фильтра

Как известно [58], объем жидкости, проходящей через этот цилиндр в единицу времени, может быть определен по формуле:

$$Q = |v| \cdot S = k_{\phi} \frac{dh_z}{dr} \cdot 2\pi \cdot r \cdot H, \quad (2.27)$$

$$S = 2\pi \cdot r \cdot H$$

где S – площадь поверхности элементарного цилиндра, м^2 ;

r – радиус основания элементарного цилиндра.

Приращение указанного объема жидкости в элементарном цилиндре в единицу времени:

$$\Delta Q \approx dQ = \frac{dQ}{dr} dr = 2\pi k_{\phi} H \frac{d}{dr} \left(z \frac{dh_z}{dr} \right) dr, \quad (2.28)$$

Последнее возможно лишь тогда, когда:

$$\frac{dh_z}{dr} + r \frac{d^2h_z}{dr^2} = 0,$$

Краевые условия при решении этого дифференциального уравнения примем в виде:

при $r = r_0$ имеем $h_z = 0$

при $r = r_n$ имеем $h_z = h_n$

$$\frac{d^2h_z}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dh_z}{dr} = 0, \quad (2.29)$$

Введем новую переменную

$$u = \frac{dh_z}{dr}, \quad (2.30)$$

$$\frac{d^2h_z}{dr^2} = \frac{du}{dr} \quad \text{и} \quad \frac{1}{r} \cdot \frac{dh_z}{dr} = \frac{u}{r},$$

$$\frac{du}{dr} + \frac{1}{r}u = 0 \quad \frac{\Delta u}{u} = -\frac{u}{2},$$

$$\ln u + \ln r = \ln C;$$

$$\ln u \cdot r = \ln C_1,$$

Поэтому

$$u \cdot r = C_1;$$

Поскольку

$$u = \frac{dh_z}{dr},$$

то

$$r \frac{dh_z}{dr} = C_1,$$

$$dh_z = \frac{C_1 \cdot dr}{r}, \quad (2.31)$$

После интегрирования этого уравнения получим:

$$h_z = l_1 \cdot \ln r + C_2, \quad (2.32)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находим, используя краевые условия:

$$0 = C_1 \cdot \ln r_0 + C_2;$$

$$h_1 = C_1 \cdot \ln r_n + C_2.$$

Распределение напора в радиальном направлении ТТФ может быть описано уравнением:

$$h_z = \frac{h_{zn}}{\ln \frac{r_n}{r_0}} \ln r - \frac{h_{zn} \cdot \ln r_0}{\ln \frac{r_n}{r_0}} = \frac{h_{zn} \cdot \ln \frac{r}{r_0}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (2.33)$$

Решая указанные уравнения найдем:

$$C_1 = \frac{h_{zn}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}; \quad C_2 = \frac{h_{zn} \cdot \ln r_0}{\ln \frac{r_n}{r_0}}.$$

Распределение давления в радиальном направлении ТТФ может быть представлено формулой:

$$\bar{P} = \frac{\bar{P}_H \cdot \ln \frac{r}{r_0}}{\ln \frac{r_H}{r_0}}, \quad (2.34)$$

На рисунке 2.8 представлена кривая, характеризующая закономерность распределения давления в радиальном направлении фильтровальной перегородки, построенная по формулам (2.33) и (2.34) при $r_0 = 32,5$ мм; $r_H = 105$ мм и $\bar{P} = 3$ ат.

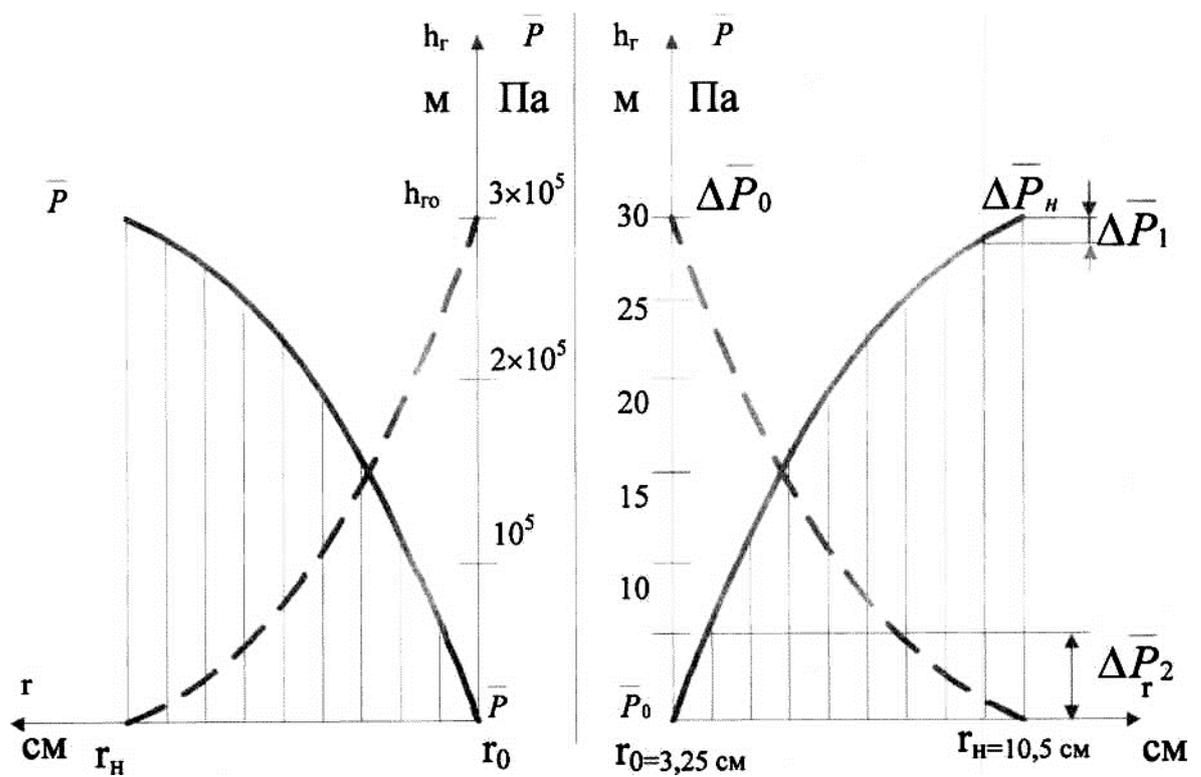


Рисунок 2.8. Характер распределения давлений по радиусу пористой намотки

Таким образом, в ТТФ наблюдается неравномерность распределения давления фильтруемой жидкости по толщине фильтровальной перегородки. Наибольший перепад давлений происходит на внутренних слоях намотки.

Скорость подачи фильтруемой жидкости в радиальном направлении со стороны наружной поверхности намотки будет равна:

$$|v_n| = k_\phi \frac{d_{нз}}{d_r} = k_\phi \frac{C_1}{r_n} = k_\phi \frac{h_{zn}}{r \ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (2.35)$$

Массовый расход фильтруемой жидкости, кг/с:

$$Q = 2\pi \cdot r_n \cdot \rho |v_n| = 2\pi \cdot \mu \cdot \rho_{жс} k_\phi \frac{h_{zn}}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, \quad (2.36)$$

$$\rho_{жс} = \frac{\gamma_{жс}}{g},$$

где $\rho_{жс}$ – удельная плотность фильтруемой жидкости, кг/м³.

Из этой формулы можно определить коэффициент фильтрации:

$$k_\phi = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_n}{r_0}}{2\pi \cdot H \cdot \rho_{жс} \cdot h_{zn}}, \quad (2.37)$$

Если расход Q задан в м³/с, то:

$$k_\phi = \frac{Q \cdot \ln \frac{r_n}{r_0}}{2\pi \cdot H \cdot h_{zn}}, \quad (2.38)$$

Коэффициент фильтрации пористых перегородок зависит от геометрических параметров фильтровальной перегородки и перепада давления фильтруемой жидкости на внешней и внутренней поверхности фильтра.

2.4. Исследование фильтровальных свойств пористых перегородок полученных путем наматывания

Анализ формулы 2.38 показывает, что при одной и той же разности давлений жидкости на внешней и внутренней поверхностях фильтрующей перегородки, производительность фильтра (расход фильтруемой жидкости) прямо пропорциональна коэффициенту фильтрации пористой перегородки.

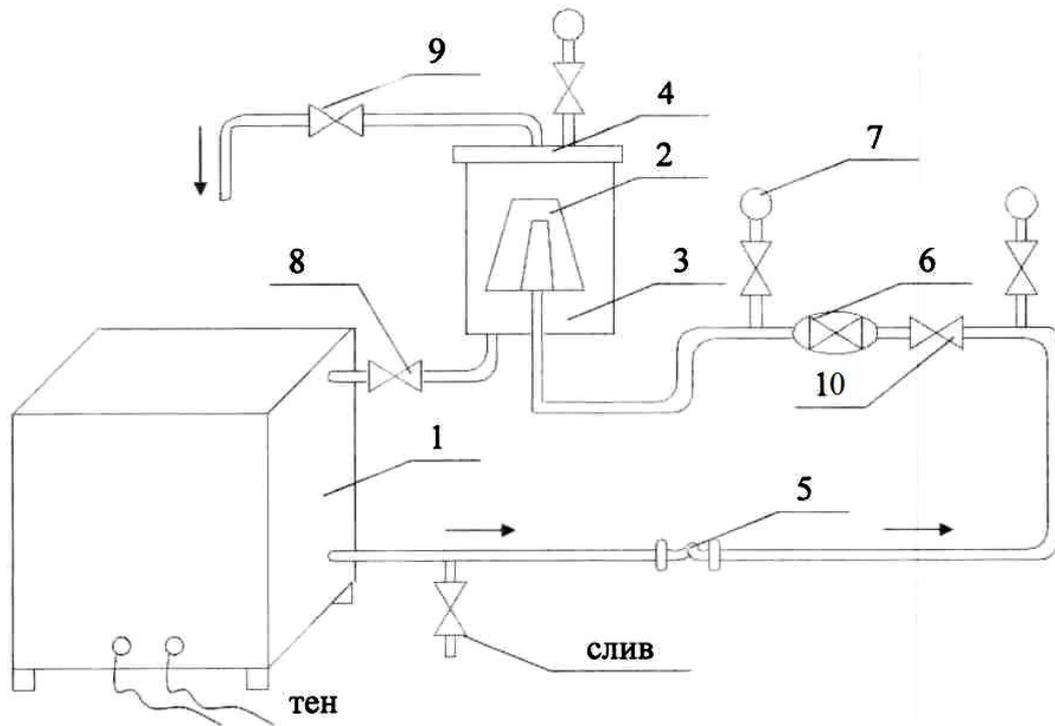
Последнее обстоятельство означает, что проницаемость намоток пористых перегородок достаточно полно может быть охарактеризована коэффициентом фильтрации этих намоток и изучение влияния структуры намотки на коэффициент фильтрации пористых перегородок ТТФ приобретает актуальное значение.

Для определения коэффициента фильтрации различного вида намоток нами был создан циркуляционный аппарат, его схема представлена на рисунке 2.9 а.

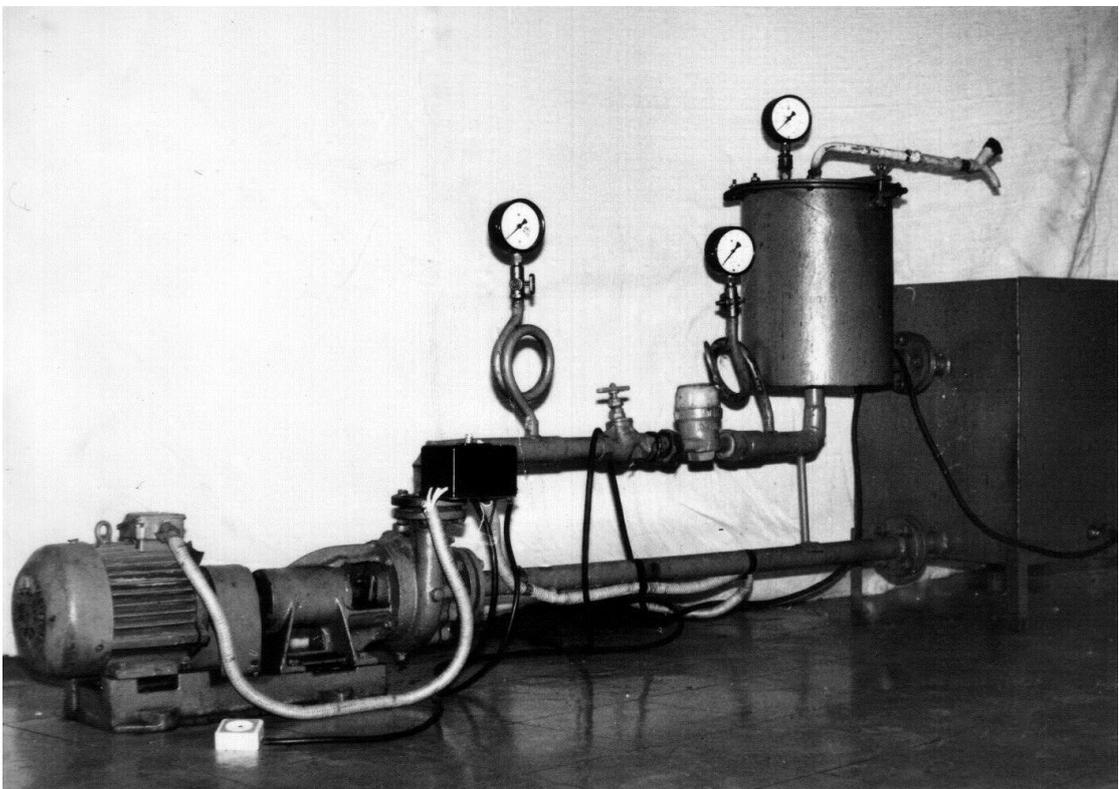
В бак 1 аппарата заливалась вода, фильтры различной структуры намотки устанавливались на насадку 2, помещенную внутри котла 3, герметично закрываемого крышкой 4. Перемещение (циркуляция) воды осуществлялась центробежным насосом 5 при открытом вентиле 9. Расход воды за определенный промежуток времени определялся по разности показаний расходомера (водомера) 6, а давление внутри намотки фильтра регулировалось вентилем 9 и определялось по показанию манометра 8. расход воды в единицу времени (за секунду) определялся по формуле:

$$Q = \frac{V_{ж}}{\Delta t}, \quad (2.39)$$

где $V_{ж}$ – объем жидкости, прошедшей через бобину за время Δt .



2.9 а. Схема циркуляционного аппарата



2.9 б. Фото циркуляционного аппарата

Начало отсчета времени выбиралось по истечении 10 минут после начала эксперимента, чтобы исключить погрешность в определении коэффициента фильтрации из-за набухания волокнистого материала намотки. При исследовании использовалась вода с температурой нагрева от 25° до 50°С.

Результаты эксперимента и расчетные данные приведены в таблице 2.2.

Коэффициент фильтрации рассчитывался по формуле (2.38).

На рисунках 2.10 и 2.11 показаны зависимость коэффициента фильтрации соответственно от пористости и степени замыкания намоток, построенные для различных диаметров намотки фильтра.

Таблица 2.2

Степень замыкания намотки	Z_n	γ	Π	P_0	Q	k_ϕ
Р	мм	г/см ³	-	атм	м ³ /с	м/с
1	4	0,26	0,675	-	-	-
3	5	0,270	0,663	0,06	$1,360 \cdot 10^{-3}$	$0,560 \cdot 10^{-4}$
3	6	0,259	0,690	0,06	$1,360 \cdot 10^{-3}$	$0,390 \cdot 10^{-4}$
23	4	0,345	0,569	0,5	$1,230 \cdot 10^{-3}$	$0,540 \cdot 10^{-4}$
23	10,5	0,315	0,608	0,5	$0,880 \cdot 10^{-3}$	$0,190 \cdot 10^{-4}$
106	4	0,538	0,328	0,5	$0,100 \cdot 10^{-3}$	$0,110 \cdot 10^{-4}$
106	10,5	0,510	0,363	0,5	$0,180 \cdot 10^{-3}$	$0,450 \cdot 10^{-4}$
201	4	0,618	0,223	0,5	$0,100 \cdot 10^{-3}$	$0,440 \cdot 10^{-4}$
203	10,5	0,585	0,269	0,5	$0,070 \cdot 10^{-3}$	$0,170 \cdot 10^{-4}$
305	4	0,630	0,213	0,5	$0,010 \cdot 10^{-3}$	$0,004 \cdot 10^{-4}$
305	10,5	0,620	0,225	0,5	$0,007 \cdot 10^{-3}$	$0,017 \cdot 10^{-4}$

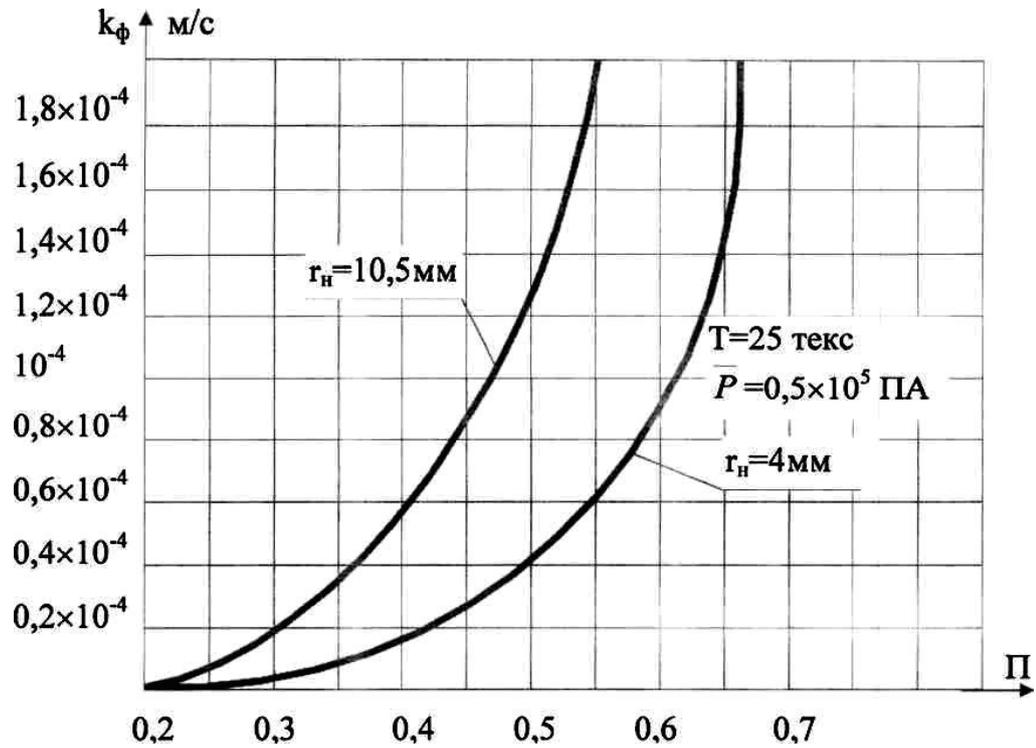


Рисунок 2.10. Зависимость коэффициента фильтрации замкнутых намоток от их пористости

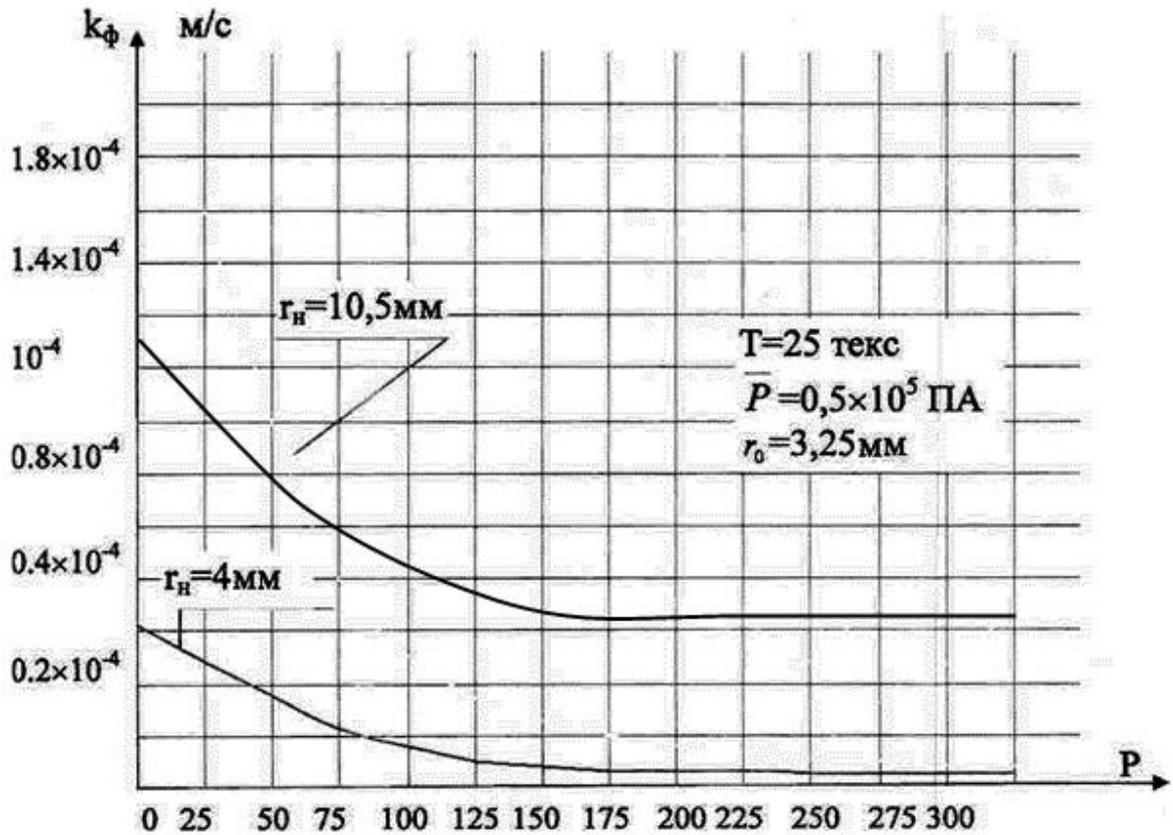


Рисунок 2.11. Зависимость коэффициента фильтрации замкнутых намоток от их замыкания

Как видно из таблицы 2.2 с увеличением пористости намотки коэффициент фильтрации быстро возрастает. Рост радиуса намотки приводит к уменьшению коэффициента фильтрации.

На эффективность (производительность) процесса фильтрования жидкостей (суспензий) большое влияние оказывает не только величина пористости намотки ТТФ, но и закономерность распределения пористости (а следовательно, и удельной плотности намотки) в радиальном направлении паковки.

На рисунке 2.12 показана зависимость расхода фильтровальной жидкости от радиуса намотки.

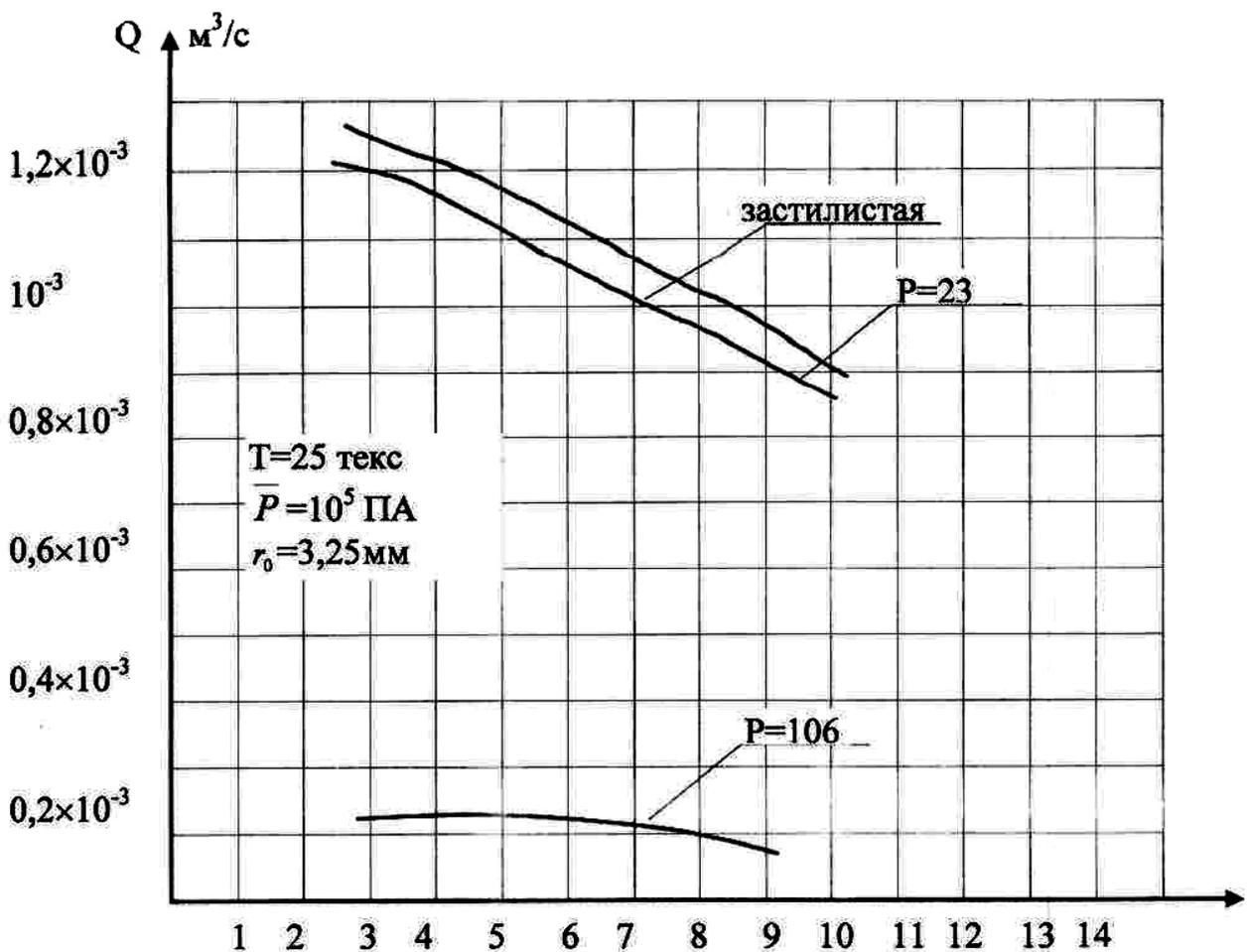


Рисунок 2.12. Зависимость расхода фильтруемой жидкости от радиуса намотки ТТФ

В.М. Морозов и В.А. Барабошкин [46] считают, что для увеличения проницаемости паковки плотность в ней следует располагать с возрастанием по радиусу намотки (с уменьшением пористости по радиусу намотки).

Кандидат технических наук В.М. Иванов (ВНИИЛТЕКМАШ), используя методы вариационного исчисления и уравнения Эйлера определил зависимость изменения плотности тела намотки по радиусу, обеспечивающую максимальную пористость тела намотки (на 20...50% большую по сравнению с паковками тех же геометрических размеров, используемыми в настоящее время в промышленности), а, следовательно, и минимальное сопротивление паковки. Если фиксирована средняя плотность намотки при заданных геометрических размерах паковки, то наиболее целесообразно распределение плотности по радиусу по следующему закону:

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{\gamma_n \ln \frac{r}{r_0}}{\ln a}, \quad (2.40)$$

где γ_0 – плотность намотки патрона;

r – текущий радиус намотки фильтра;

γ_n – плотность наматываемой на патрон нити;

r_0 – радиус патрона;

a – постоянный коэффициент.

Если фиксирована масса паковки при заданных геометрических размерах, то наиболее целесообразно распределение плотности по радиусу по закону:

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{\gamma_n \ln \left(\frac{r}{r_0} \right)^2}{\ln a}, \quad (2.41)$$

Однако в действительности у нарабатываемых в настоящее время паковок послойная плотность распределяется в теле намотки с уменьшением по радиусу, и поэтому В.М. Иванов справедливо отмечает, что для

увеличения проницаемости достаточно получить равномерное распределение послойной плотности.

С точки зрения теории замкнутых намоток возможно создать любой закон распределения плотности (пористости) в радиальном направлении. Для этого в начале на паковке следует формировать намотки более низкой степени замыкания, чем в конце, и таким образом обеспечить заданную в работе закономерность изменения удельной плотности (пористости). Однако для достижения этой цели необходима разработка конструкций нового мотального оборудования, которое позволяло бы формировать на патроне замкнутые намотки различной степени замыкания.

Для определения оптимального диапазона перепада давлений на пористой перегородке ТТФ были сняты гидравлические характеристики намоток различной структуры (рисунок 2.13).

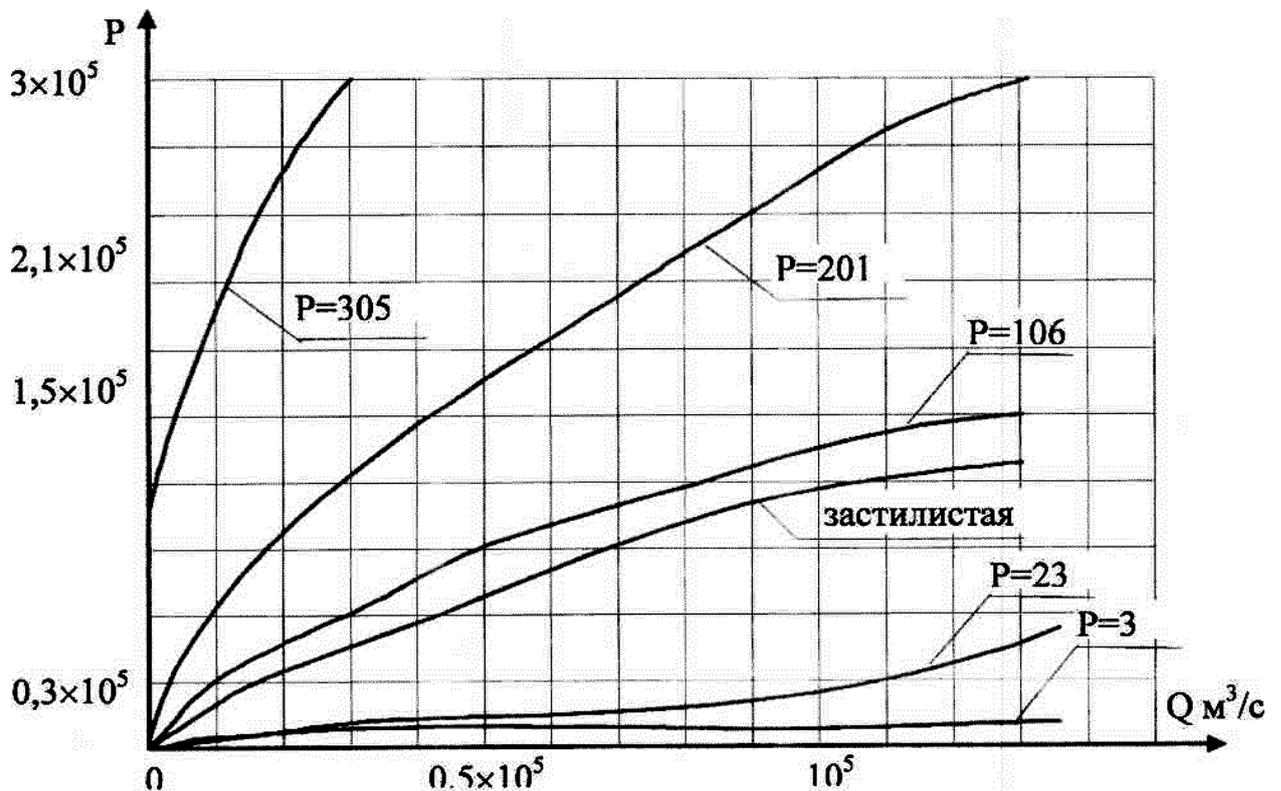


Рисунок 2.13. Гидравлические характеристики ТТФ различной структуры намотки

Исследования показали, что наилучшие условия фильтрования создаются на той части гидравлических характеристик, где более или менее сохраняется пропорциональность между перепадом давлений и расходом фильтруемой жидкости, так как в этом случае обеспечивается ламинарный закон ее движения сквозь толщину намотки и уменьшается вероятность повреждения (пробоя) последней. На рисунке 2.13 показана зависимость расхода фильтруемой жидкости от радиуса намотки бобин, полученная в ходе экспериментальных исследований намоток на циркуляционном аппарате.

2.5. Разработка конструкции мотального механизма для формирования ТТФ предназначенных для очистки промышленных вод

Отличительной особенностью ТТФ предназначенных для очистки промышленных вод является их габаритные размеры. Для обеспечения высокой производительности фильтров (прохождения большого объема фильтрата через пористую перегородку) площадь рабочей поверхности ТТФ должна соответствовать выбранной пористости (проницаемости) фильтровальной перегородки, которая как отмечалось ранее § 1.3, определяется коэффициентом фильтрации k_ϕ .

Производительность ТТФ определяется по формуле:

$$Q = \frac{2\pi \cdot H \cdot h_{zo} \cdot k_\phi}{\ln \frac{r_n}{r_0}}, [\text{м}^3/\text{час}] \quad (2.42)$$

где H – высота намотки ТТФ, м;

h_{zo} – перепад напора в средней части ТТФ;

k_ϕ – коэффициент фильтрации создаваемый пористой перегородкой (создаваемый выбранной структурой намотки), м/с;

r_n , r_0 – соответственно радиусы намотки наружного и внутреннего слоя фильтровальной перегородки.

Очевидно, что при заданной производительности ТТФ и требуемой степени очистки определяемой коэффициентом фильтрации габаритные размеры фильтрата могут колебаться в широких пределах. Высота намотки ТТФ может изменяться от 0,05 до 2 метров.

Радиусы намотки фильтровальных перегородок ТТФ должны обеспечивать совместимость с размерами трубопроводов подающих растворы к фильтрам и отводящих фильтрат из зоны очистки, поэтому диаметры перфорированных патронов, на которых формируются ТТФ должны соответствовать стандартным размерам водопроводных труб

выпускаемых промышленностью.

Вполне очевидно, что конструкции мотальных механизмов используемых для формирования ТТФ для очистки бытовых и промышленных вод будут отличаться друг от друга своими габаритными размерами, но любая конструкция должна обеспечивать формирование заданной структуры намотки пористых перегородок, а следовательно, должна содержать в своей конструкции механизмы изменения передаточного отношения между раскладчиком нити и паковкой (вариаторы или коробки скоростей).

На рисунке 2.14 показана схема мотального механизма, обеспечивающая формирование ТТФ увеличенных габаритов на перфорированных трубках диаметром от 50 до 110 мм и при высоте раскладки H от 0,5 до 2 м.

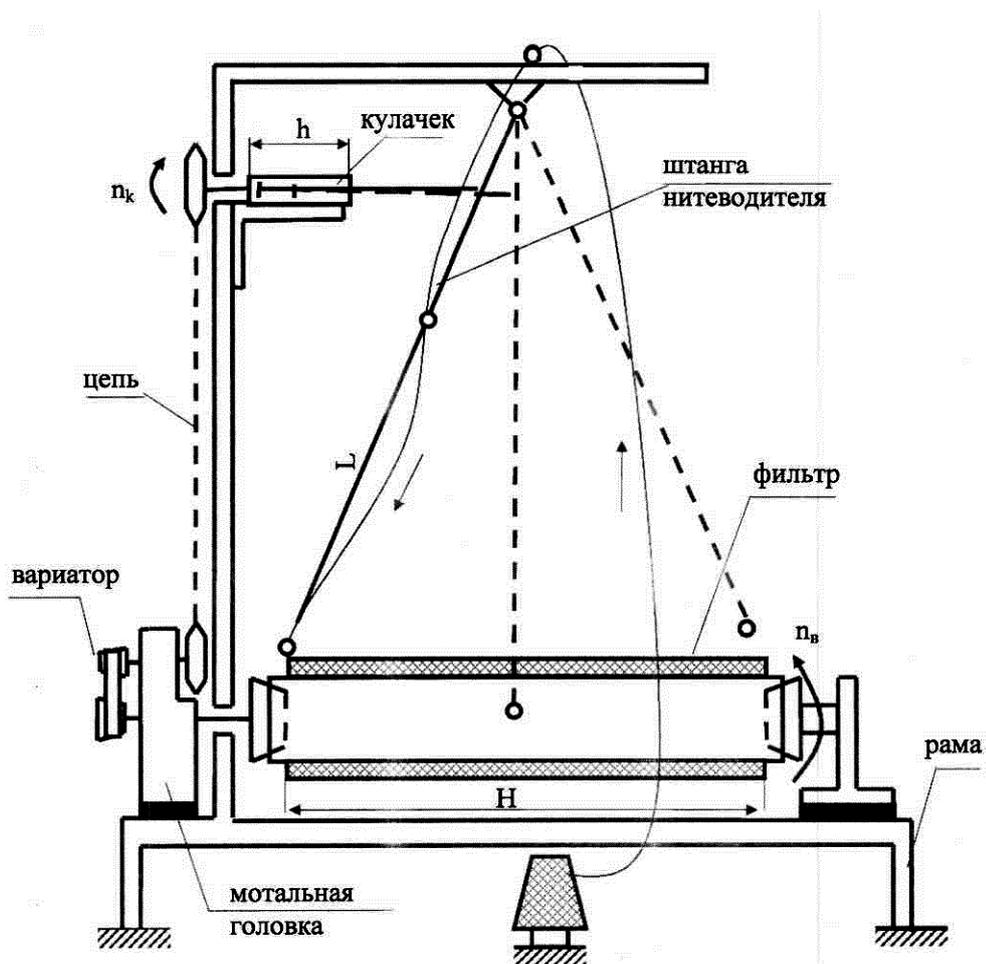


Рисунок 2.14. Мотальный механизм для формирования ТТФ увеличенных габаритов

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Свойства фильтровальных перегородок трубчатых текстильных фильтров определяются структурой намотки нитевидного материала на поверхности патрона (выбранной степени замыкания намотки).
2. Скорость фильтрации в ТТФ гиперболически уменьшается по мере увеличения текущего радиуса фильтровальной перегородки.
3. Пористость, а, следовательно, и проницаемость перегородок ТТФ, можно легко изменять в широких пределах путем формирования на перфорированных патронах намоток различного вида, а так же их комбинаций.
4. Наименьшей проницаемостью обладают фильтровальные перегородки ТТФ имеющие сомкнутую структуру намотки нити на перфорированный патрон.
5. С увеличением степени замыкания намотки пористость фильтровальных перегородок гиперболически уменьшается.
6. Скорость фильтрации и производительность фильтры будет зависеть от перепада давлений на фильтровальной перегородке, вязкости фильтрата и его удельного веса.
7. В трубчатых текстильных фильтрах наблюдается неравномерность распределения давления фильтруемой жидкости по толщине фильтровальной перегородки. Наибольший перепад давлений происходит на внутренних слоях намотки.
8. Наилучшие условия фильтрования создаются тогда, когда сохраняется пропорциональность между перепадом давлений и расходом фильтруемой жидкости, то есть, когда обеспечивается ламинарный закон движения фильтрата через толщину намотки пористой перегородки и уменьшается вероятность повреждения (пробоя) последней.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ ПЕРЕГОРОДОК ТТФ

3.1. Гидравлические свойства пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров

Поскольку проникновение жидкостей и газов сквозь фильтрующую перегородку может происходить по трещинам и порам, то проницаемость перегородки зависит от ее пористости, которая определяется объемом пор в единице объема намотки и может быть определена по формуле:

$$П = \frac{V_{пор}}{V}, \quad (3.1)$$

где: V – объем фильтрующей перегородки;

$V_{пор}$ – объем занимаемый порами в общем объеме фильтрующей перегородки.

Поскольку нас интересуют трубчатые текстильные фильтры, в которых в качестве фильтрующих перегородок используются различные виды намоток нитей на перфорированные патроны, то целесообразнее всего пористость фильтрующей перегородки выражать через плотность намотки перегородки и наматываемой нити. В этом случае:

$$П = 1 - \frac{\gamma}{\gamma_n}, \quad (3.2)$$

где: γ – плотность намотки пористой перегородки, г/см³;

γ_n – плотность наматываемой нити, г/см³;

Следовательно, для увеличения пористости (а значит и проницаемости) ТТФ с фильтрующей перегородкой, представляющей собой намотку нити на перфорированный патрон, необходимо уменьшать плотность указанной намотки.

Если в качестве пористой перегородки используется сомкнутая намотка, то

$$\gamma = \frac{1}{c^2}, \text{ [г/см}^3\text{]} \quad (3.3)$$

где: c – коэффициент, характеризующий рыхлость нити.

Для х/б пряжи $c=1,25$ и плотность пористой перегородки сомкнутой структуры намотки:

$$\gamma = \frac{1}{1,25^2} = 0,64, \text{ [г/см}^3\text{]}$$

Поскольку все иные виды намоток (замкнутые с различной степенью замыкания, спиралевидные, застилистые) имеют меньшую удельную плотность намотки γ по сравнению с сомкнутой намоткой, то они имеют большую пористость и проницаемость. Плотность намоток замкнутой и спиралевидной структур зависит от степени замыкания намотки – p [61].

С увеличением степени замыкания намотки – p число сот возрастает, а их размеры уменьшаются (рисунок 2.5).

$$e = \frac{\pi D}{p}, \quad (3.4)$$

где: D – диаметр намотки пористой перегородки;

p – степень замыкания намотки.

Ширина ячейки, измеренная в меридиальном (осевом) направлении:

$$f = \frac{2H}{ki_o p}, \quad (3.5)$$

где i_o – общее передаточное отношение между веретенном и кулачком нитеводителя.

Согласно закону фильтрации Дарси [62] скорость движения жидкости в фильтрующем слое можно определить по формуле:

$$v = -k_{\phi} \frac{\partial h_z}{\partial x}, \quad (3.6)$$

где: k_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/с;

h_z – гидравлический напор жидкости в слое, находящемся на расстоянии x от места фильтрации;

$\frac{\partial h_z}{\partial x}$ – градиент изменения напора жидкости по направлению фильтрации.

Поскольку перепад давления на пути фильтрации x равен:

$$\Delta P = \gamma_{ж} \cdot h_z, \quad (3.7)$$

где: $\gamma_{ж}$ – удельный вес жидкости (фильтрата), Н/м³;

то

$$v = -\frac{k_{\phi} \partial(\Delta P)}{\gamma_{ж} \partial x}, \quad (3.8)$$

В случае трубчатого текстильного фильтра скорость подачи фильтруемой жидкости в радиальном направлении со стороны наружной поверхности намотки [62].

$$v = k_{\phi} \frac{dh_z}{dr} = k_{\phi} \frac{h_{zn}}{r \ln \frac{r_n}{r_o}}, \quad [\text{м/с}] \quad (3.9)$$

где: h_{zn} – гидравлический напор на наружной поверхности пористой перегородки, м;

r – текущий радиус намотки пористой перегородки, м;

r_n – наружный радиус пористой перегородки, м;

r_o – радиус патрона, на который намотана пористая перегородка.

Расход фильтруемой жидкости в единицу времени

$$Q = v \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H, \quad (3.10)$$

Тогда

$$Q = \frac{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi} \cdot h_{zn}}{\ln \frac{r_n}{r_o}}, [\text{М}^3/\text{с}] \quad (3.11)$$

где: H – высота намотки пористой перегородки, м.

$$Q = \frac{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi} \cdot (\Delta P)}{\gamma_{жс} \cdot \ln \frac{r_n}{r_o}}, [\text{М}^3/\text{с}] \quad (3.12)$$

где: $\gamma_{жс}$ – удельный вес фильтруемой жидкости, Н/м³;

ΔP – перепад давления на пористой перегородке.

Массовый расход фильтруемой жидкости

$$Q = \frac{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi} \cdot \rho_{жс} \cdot P}{\gamma_{жс} \cdot \ln \frac{r_n}{r_o}} = \frac{2\pi \cdot H \cdot k_{\phi} \cdot P}{g \cdot \ln \frac{r_n}{r_o}}, [\text{кг}/\text{с}] \quad (3.13)$$

где: $g = 9,81$ – ускорение земного притяжения, м/с²;

$\rho_{жс}$ – удельная плотность фильтруемой жидкости, кг/м³.

Распределение давления в радиальном направлении ТТФ может быть представлено следующей формулой.

$$P = \frac{P_n \cdot \ln \frac{r_n}{r_o}}{\ln \frac{r_n}{r_o}}, \quad (3.14)$$

где: P_n – давление на наружной поверхности пористой перегородки.

Проницаемость намоток пористых перегородок достаточно полно может быть охарактеризована коэффициентом фильтрации. Для определения коэффициента фильтрации различного вида намоток была создана установка [64].

Установка для проведения исследования (рисунок 3.1) состоит из

железной стойки 1, на которой установлен аквариум 2. Внутри аквариума к сливному отверстию, проделанному в боковой стенке и находящемуся на высоте 15 см от дна, подключен фильтр 3. Очищенная вода по сливному шлангу 4 поступает в емкость 5. Емкость 6 объемом 1 л необходима для проведения контрольных измерений. Для обеспечения постоянного перепада давления на фильтрующую перегородку в аквариуме поддерживается постоянный уровень воды, а следовательно, и величина h_{zn} постоянна. В этом случае перепад давления:

$$\Delta P = h_{zn} \cdot \gamma_{ж}, \quad (3.15)$$

Суть исследования состоит в следующем: вода в аквариуме пропускается через фильтры с различной структурой намотки (сомкнутой, спиралевидной и замкнутой). Пористая перегородка фильтров изготовлена из полипропиленовых нитей с линейной плотностью $T=100 \times 2$ текс. Регистрируется время t , за которое через фильтр пройдет объем воды равный 1 литру.

Определяем скорость фильтраций:

$$v = \frac{Q}{F}, \quad (3.16)$$

$$Q = \frac{V_{ж}}{t},$$

где: Q – расход фильтруемой жидкости, м³/с;

F – внешняя поверхность фильтра, м²;

$V_{ж}$ – объем фильтруемой жидкости, прошедший через фильтр за время t .

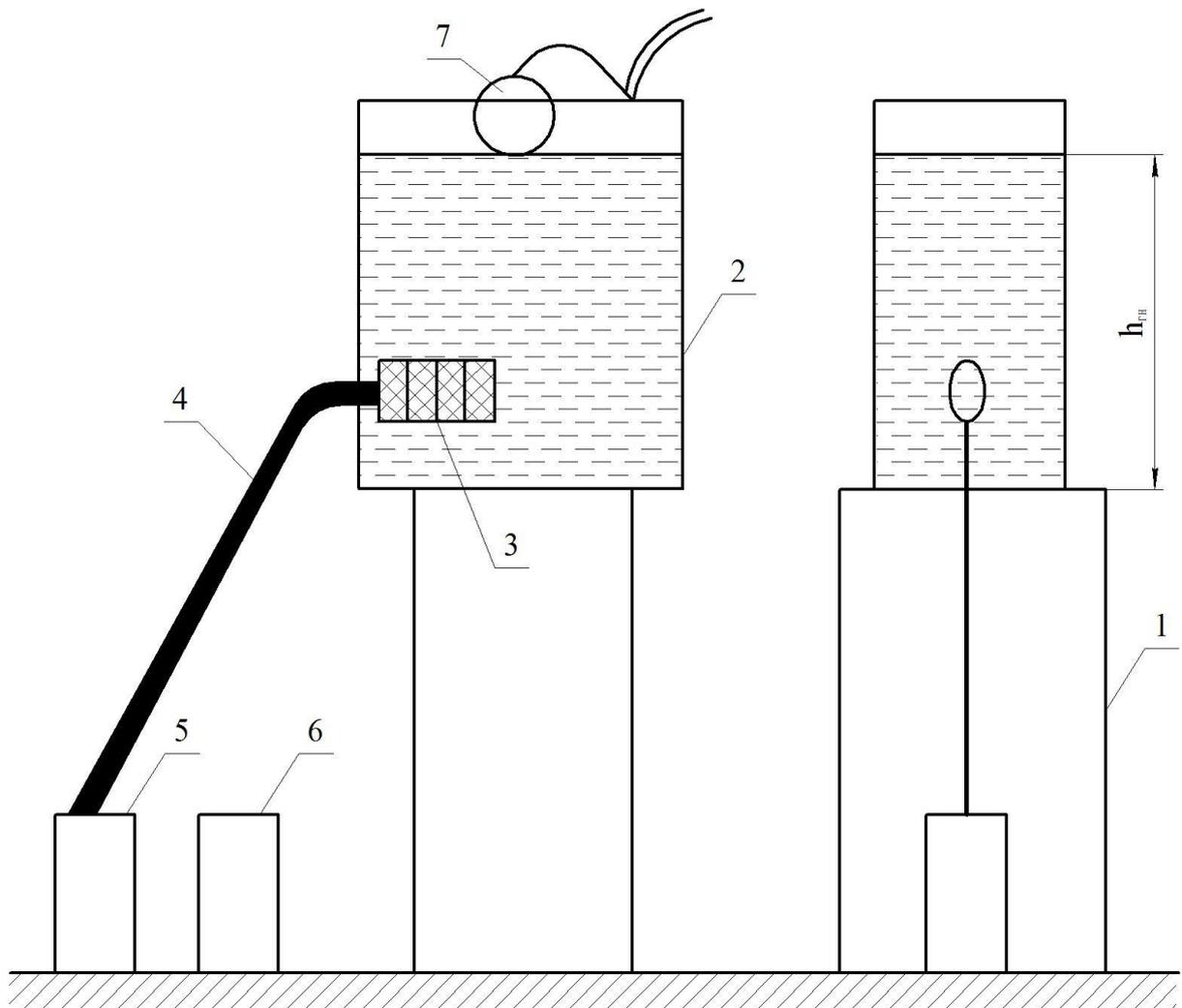


Рисунок 3.1. Установка для определения коэффициентов фильтрации пористых перегородок.

Затем определяем коэффициент фильтрации.

$$k_{\phi} = \frac{v \cdot r_n \cdot \ln \frac{r_n}{r_o}}{h_{\text{ен}}}, \quad (3.17)$$

Известно, что проницаемость ТТФ зависит от пористости фильтрующей перегородки, которая определяется объемом пор в единице объема тела намотки и выражается формулой:

$$\Pi = \frac{V_{\text{пор}}}{V}, \quad (3.18)$$

где: V – объем фильтрующей перегородки;

V_{nop} – объем, занимаемый порами в общем объеме фильтрующей перегородки.

Фильтры с различной структурой намотки обладают различной пористостью, а, следовательно, у каждого вида намотки своя пропускная способность.

В целях определения пропускной способности проведены исследование гидравлических свойств пористых перегородок фильтров с различной структурой намотки (сомкнутых, замкнутых, спиралевидных) объем нити, намотанной на патрон определялся по формуле:

$$V = \frac{\pi H}{4} (D^2 - d^2), \text{ мм}^3 \quad (3.19)$$

где: H – высота намотки, мм;

D – диаметр намотки фильтра, мм;

d – диаметр патрона (по намотке), мм;

V_{nop} – объем пор в намотке:

$$V_{nop} = V - V_n, \quad (3.20)$$

где: V_n – объем нити намотанной на фильтр, мм³.

$$V_n = L \cdot S, \quad (3.21)$$

где: S – площадь поперечного сечения нити, мм²;

L – длина нити намотанной на фильтр, измеренная счетчиком длины нити, мм.

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \left(c \sqrt{\frac{T}{\sqrt{1000}}} \right)^2}{4}, \text{ мм}^2 \quad (3.22)$$

По результатам проведенных исследований (таблица 3.1) были

рассчитаны зависимость скорости прохождения потока воды через фильтр, от его пористости, а также зависимость разности давлений от структуры намотки фильтра и массовый расход фильтруемой жидкости.

На рисунке 3.2 показана зависимость коэффициента фильтрации пористой перегородки ТТФ в зависимости от ее пористости. В качестве аппроксимирующей кривой наиболее близко подходит парабола.

Таблица 3.1

Зависимость коэффициента фильтрации от пористости

D , мм	V , мм ³	Π , мм ³	ν , м/с	ρ , Па	Q , м ³ /с	h_{en} , м	k_{ϕ} , м/с
35	161906	0,20	1,9638	5886	0,5892	0,6	0,00035
35	161906	0,23	1,6833	5886	0,505	0,6	0,0003
35	161906	0,25	1,5935	5886	0,4781	0,6	0,000284
35	161906	0,30	1,7787	5886	0,5336	0,6	0,000317
35	161906	0,34	2,3510	5886	0,7053	0,6	0,000419
35	161906	0,36	2,7831	5886	0,8349	0,6	0,000496
35	161906	0,40	3,9333	5886	1,1800	0,6	0,000701
35	161906	0,45	5,9028	5886	1,7708	0,6	0,001052
35	161906	0,46	6,3679	5886	1,9104	0,6	0,001135
35	161906	0,49	7,9064	5886	2,3719	0,6	0,001409
35	161906	0,497	9,9595	5886	2,9879	0,6	0,001775
35	161906	0,50	8,4670	5886	2,5401	0,6	0,001509
35	161906	0,55	11,626	5886	3,4878	0,6	0,002072
35	161906	0,56	12,329	5886	3,6987	0,6	0,002197
35	161906	0,60	15,380	5886	4,6139	0,6	0,002741

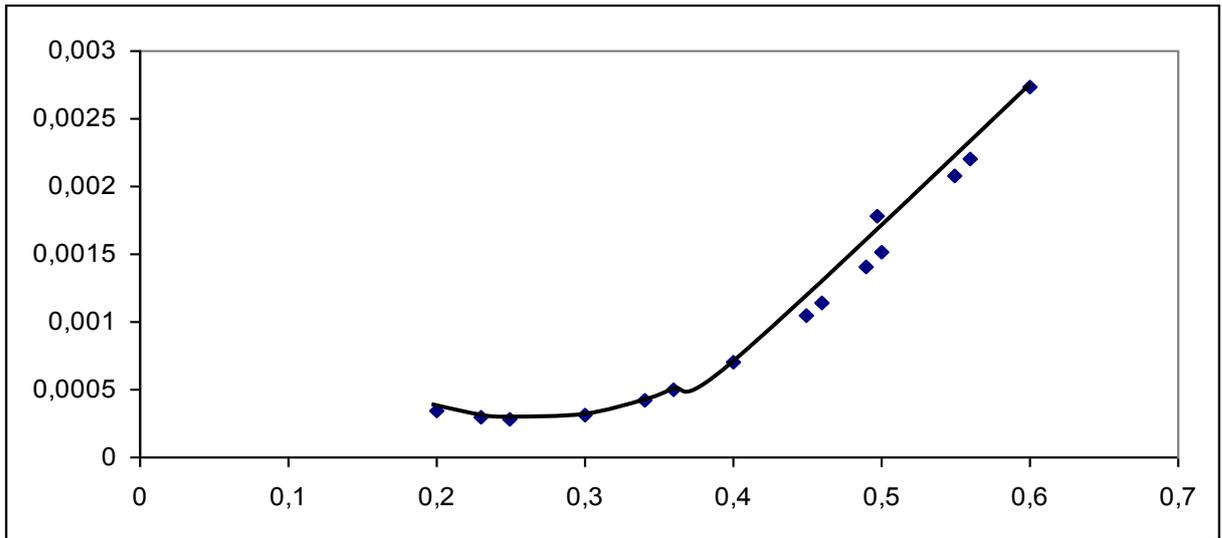


Рисунок 3.2. Зависимость коэффициента фильтрации от пористости фильтровальной перегородки

3.2. Проблемы деформации (сплющивании) остова пористой перегородки трубчатых текстильных фильтров

Остов (дырчатая труба), на который наматывается пористая перегородка трубчатого текстильного фильтра (ТТФ), может подвергаться сплющиванию от действия намоточного натяжения и внешнего давления фильтрующей жидкости (суспензии). В этом случае сечение остова (дырчатой трубы) приобретает очертание эллипса (рисунок 3.3 а, штриховые линии). На рисунке 3.3, а и б показан характер деформации пористой перегородки трубчатого текстильного фильтра.

Согласно В.П.Щербакову большое значение на характер распределения удельного давления в намотке играют упруго вязкая деформация нити [65]. Считая в первом приближении нить идеальной и упруго нерастяжимой, сила нормального давления элемента витка на намотку [66] может быть определена из формулы:

$$dN = K \cos^2 \frac{\beta}{2} df, \quad (3.23)$$

где: K – натяжение нити при наматывании в ньютонах;

$\frac{\beta}{2}$ – угол подъема витков (рисунок 3.3 б);

df – элементарный угол, соответствующий отрезку нити на поверхности намотки текущего радиуса r в радианах.

Объем намотки элементарного кольца:

$$\Delta V = 2\pi H \Delta r, \quad (3.24)$$

где: r – текущий радиус намотки;

H – высота намотки пористой перегородки, м³;

Δr – толщина объемного слоя, м.

Масса нити в объемном слое намотки:

$$\Delta G = \gamma \cdot \Delta V \cdot 10^6 = 2\pi \cdot r \cdot H \cdot \Delta r \cdot \gamma \cdot 10^6, \text{ Г} \quad (3.25)$$

где: γ – удельная плотность намотки, Г/см^3 .

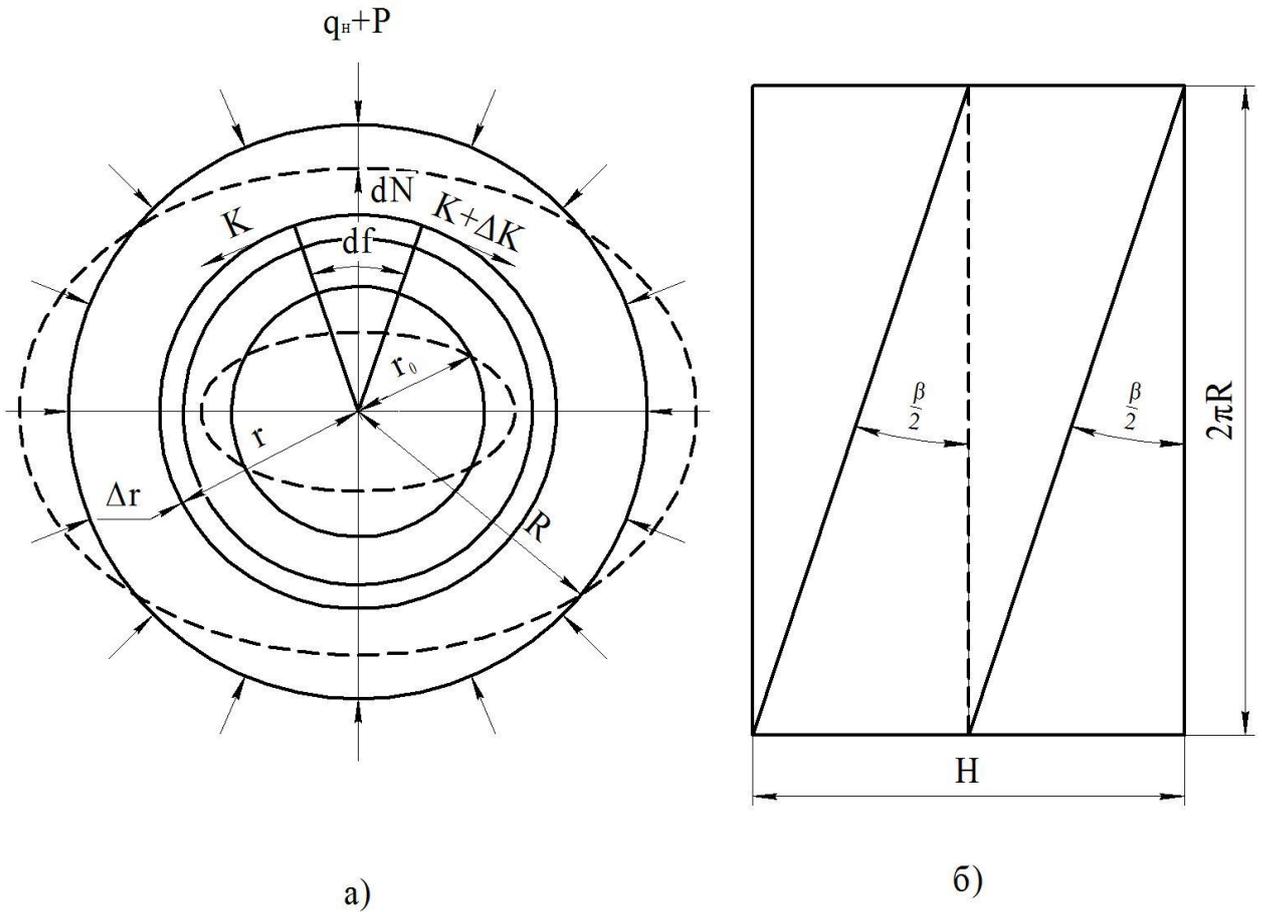


Рисунок 3.3 Деформация трубчатого текстильного фильтра
а) поперечное сечение, б) развёртка пористой перегородки трубчатого текстильного фильтра

Длина витка в объемном слое:

$$l = \frac{2\pi \cdot r}{\cos \frac{\beta}{2}}, \quad (3.26)$$

Масса одного витка:

$$g = \frac{1 \cdot T}{1000} = \frac{2\pi \cdot r \cdot T}{10^3 \cos \frac{\beta}{2}}, \text{ Г} \quad (3.27)$$

где: T – линейная плотность наматываемой нити, текс.

Число витков в объемном слое:

$$W = \frac{\Delta G}{g} = \frac{2\pi \cdot r \cdot H \cdot \Delta r \cdot \gamma \cdot 10^6 \cdot 10^3 \cdot \cos \frac{\beta}{2}}{2\pi \cdot r \cdot T},$$

$$W = \frac{\gamma \cdot H \cdot \Delta r \cdot 10^9}{T} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \quad (3.28)$$

Суммарное натяжение всех витков в объемном слое:

$$K_{\text{сум}} = K \cdot W = \frac{\gamma \cdot H \cdot \Delta r \cdot K \cdot 10^9}{T} \cos \frac{\beta}{2}, \text{ НЬЮТОН} \quad (3.29)$$

Нормальная суммарная сила давления витков на намотку:

$$\Delta N = W \cdot dN = \frac{\gamma \cdot H \cdot \Delta r \cdot K \cdot 10^9 \cdot \Delta f}{T} \cos \frac{\beta}{2}, \quad (3.30)$$

Площадь под витками объемного элементарного слоя:

$$\Delta S = r \cdot H \cdot df, \text{ м}^2 \quad (3.31)$$

Величина удельного давления слоя намотки толщиной Δr :

$$\Delta q_n = \frac{\Delta N}{\Delta S} = \frac{\gamma \cdot H \cdot \Delta r \cdot 10^9 \cdot K \cdot df \cdot \cos^3 \frac{\beta}{2}}{T \cdot r \cdot H \cdot df}, \text{ Н/м}^2 \quad (3.32)$$

Удельное давление внешних слоев намотки на остов (дырчатую трубу):

$$q_n = \int_{r_o}^R \frac{\gamma \cdot K \cdot \Delta r \cdot 10^9 \cdot \cos^3 \frac{\beta}{2}}{T \cdot r} = \frac{\gamma \cdot K \cdot 10^9 \cdot \cos^3 \frac{\beta}{2}}{T} \int_{r_o}^R \frac{dr}{r},$$

$$q_n = \frac{\gamma \cdot K \cdot 10^9 \cdot \cos^3 \frac{\beta}{2}}{T} \ln \frac{R}{r_o}, \text{ Н/м}^2 \quad (3.33)$$

Если удельное давление выразить в сантиньютонах на 1 см^2 ,

$$q_n = \frac{\gamma \cdot K \cdot 10^5 \cdot \cos^3 \frac{\beta}{2}}{T} \ln \frac{R}{r_o}, \quad (3.34)$$

Пусть, например: $\gamma = 0,26 \text{ г/см}^3$, $K = 50 \text{ сН}$, $\beta = 24^\circ$, $T = 200 \text{ текс}$, $R = 6 \text{ см}$,
 $r_o = 5,5 \text{ см}$.

$$q_n = \frac{0,26 \cdot 50 \cdot 10^5 \cdot \cos^3 12^\circ}{200} = \ln \frac{6}{5,5} = 529,3, \text{ сН/см}^2$$

Общее удельное давление на ствол (остов) пористой перегородки

$$q = q_n + P, \quad (3.35)$$

где: P – внешнее давление фильтруемой жидкости (суспензии).

Очевидно для исключения сплющивания остова (трубы) величина удельного давления q не должна превышать некоторой критической величины $q_{кр}$

$$q \leq q_{кр}$$

Величина критического удельного давления определяется по формуле [67,68].

$$q_{кр} = \frac{E \cdot h^2 \cdot 100}{4(1 - \mu^2)r_o^3} \cdot \left(\frac{F - F_{омс}}{F} \right), \text{ сН/см}^2 \quad (3.36)$$

где: E – модуль упругости материала трубы первого рода, Н/см^2 ;

h – толщина стенок трубы, см;

r_o – внешний радиус трубы, см;

μ – коэффициент Пуассона;

F – площадь поверхности трубы под намоткой, м²;

$F_{отв}$ – площадь отверстий насверленных в трубе.

Если, например: $E = 10^5 \text{ Н/см}^2$, $h = 0,5 \text{ см}$, $\mu = 0,35$, $r_o = 5,5 \text{ см}$, $F = 2 \text{ м}^2$,
 $F_{отв} = 1 \text{ м}^2$.

$$q_{кр} = \frac{10^5 \cdot 0,5 \cdot 100}{4(1 - 0,35^2) \cdot 5,5^3} \cdot \left(\frac{2-1}{2} \right) = 4280, \text{ сН/см}^2$$

Если сжимающее усилие в трубе больше предела пропорциональности материала, то критическое удельное давление рассчитывают с учетом предела текучести последнего.

Допустимое внешнее давление фильтруемой жидкости (суспензии) на намотку:

$$[P] = q_{кр} - q_n = 4280 - 529,3 = 3750,7, \text{ сН/см}^2$$

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Экспериментальные исследования свойств пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров подчиняются общеизвестным законам фильтрации, в частности закону Дарси.
2. При использовании в качестве фильтровальных перегородок текстильных материалов решающее значение на процесс фильтрации оказывают плотность намотки нитей (нитевидного материала) на перфорированный патрон и свойства самого материала, из которого изготовлена данная нить.
3. Максимальной плотностью, а, следовательно, и минимальной проницаемостью фильтровальных перегородок (из всех исследуемых текстильных материалов) обладают матальные паковки сомкнутой структуры намотки нитей на перфорированный патрон.
4. Для каждой структуры намотки текстильного материала коэффициент фильтрации, характеризующий скорость прохождения фильтрата через фильтрующую перегородку, может быть определен с помощью специального стенда. Как показали исследования повышение коэффициента фильтрации определяется пористостью текстильного материала из которого изготовлен фильтр.
5. Основными проблемами формирования и эксплуатации пористых перегородок (ТТФ) с заданной пористостью и проницаемостью являются их допустимое гидродинамическое сопротивление, при превышении которого может произойти деформация фильтровальной перегородки (сплющивание фильтра).
6. Для предотвращения возможностей разрушения фильтровальной перегородки и структуры фильтра необходимо в каждом конкретном случае производить расчеты допустимых нагрузок по разработанной нами методике.

ГЛАВА 4. ВЫБОР И ИЗУЧЕНИЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ УСТАНОВКИ СЖИГАНИЯ, ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЖРО ОРГАНИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ВЫТЯЖКИ И ПРИ СОВМЕСТНОЙ ИХ ПЕРЕРАБОТКЕ С ВОДНЫМИ ОТХОДАМИ

В главе представлены результаты экспериментальных исследований по изучению эффективности различных средств очистки отходящих газов установки сжигания при переработке жидких органических и обводненных отходов АСТ с органическим теплоносителем. Показана целесообразность «сухой» схемы очистки дымовых газов от радионуклидов с помощью металлотканевого фильтра с напыленным фильтрующим подслоем из древесной золы, фильтра из ультратонкого стекловолокна в качестве второй ступени фильтрации. Коэффициент очистки дымовых газов, образующихся при сжигании органических отходов или их смеси с обессоленными водными отходами (до 30 % воды), достигает три – четыре порядка.

Совместная огневая переработка органических отходов и минерализованных водных стоков возможна только при условии, если не требуется очистка от радионуклидов на фильтрах при сбросе дымовых газов в атмосферу.

Развитие атомной энергетики ведет к повышению требований, предъявляемых к радиационной безопасности эксплуатации атомных станций. Атомные станции теплоснабжения (АСТ), например, должны размещаться в непосредственной близости от населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов. Это, соответственно, накладывает на АСТ еще более жесткие требования по надежности и безопасности всех систем по сравнению с АЭС.

Одним из аспектов радиационной безопасности является переработка, очистка и хранение радиоактивных отходов, подлежащих удалению во

внешнюю среду. Этот вопрос особенно важен для АСТ с органическим теплоносителем из-за относительно большого объема радиоактивных отходов теплоносителя. Повышение эффективности и экономичности систем переработки становится актуальной задачей исследований и разработок.

Отходы на АСТ с органическим теплоносителем образуются в результате радиационно-термического разложения его на газообразные и жидкие (низкокипящие и высококипящие) продукты. Жидкие отходы состоят из густого смолистого кубового остатка, напоминающего мазут или гудрон, и легкого погона – в основном толуол, ксилол. Соотношение между кубовым остатком и легким погоном по массе составляет 5:1 соответственно. Количество этих отходов можно характеризовать скоростью их генерации в реакторе. Для дитолилметанового теплоносителя значение этой величины ориентировочно равно 1 кг/МВт·ч. Эти отходы содержат радионуклиды и являются химически вредными веществами. Их захоронение без переработки экономически невыгодно, так как приводит к большому объему могильника. Более дешевым средством их обезвреживания является сжигание с последующей фильтрацией дымовых газов от пылевых частиц и радиоактивных золей. Сжигание этих отходов приводит к концентрированию радионуклидов на фильтре и, при достаточной полноте сжигания, превращению химически вредных жидких углеводородов в безвредные вещества: углекислый газ и воду.

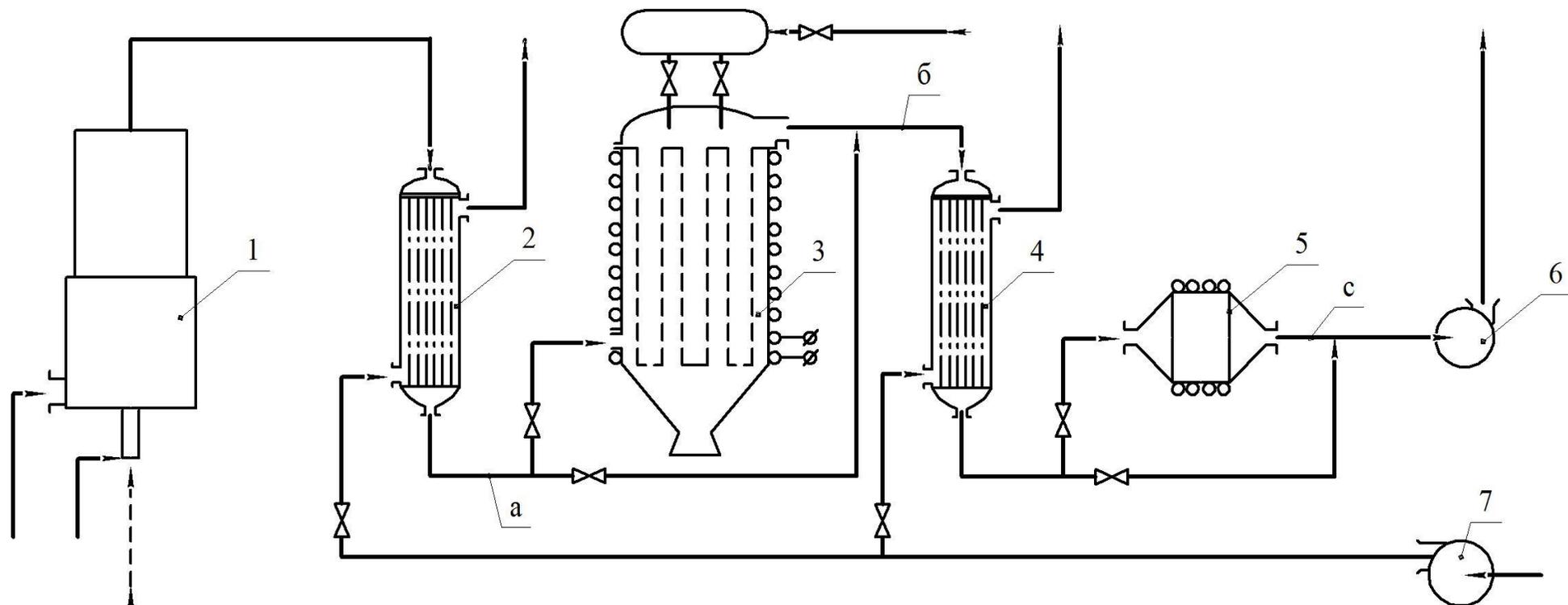
В ОАО «ГНЦ НИИАР» была разработана полупромышленная печь типа УГ-100 с ультразвуковой форсункой (А.С. №262303), которая позволяет проводить «бездымное» сжигание (концентрация взвешенных частиц в дыме не более 3 мг/м³) отходов органического теплоносителя ДТМ. Установка способна сжигать до 100 кг отходов в час. Достигнутая полнота сгорания позволила осуществить и исследовать фильтрационную очистку дымовых газов, показавшую ее практическую пригодность для использования в технологической схеме атомной станции теплоснабжения.

4.1. Экспериментальное оборудование и методика проведения экспериментов

При выборе метода очистки были рассмотрены аппараты «сухого» и «мокрого» типов. Для достижения минимального объема радиоактивных отходов нецелесообразно использование аппаратов «сухого» типа, так как появление промывочной воды или другого агента приводит к образованию значительного количества вторичных жидких сбросов и необходимости их дальнейшей переработки (упарки, концентрирования и т.п.). Кроме того, эффективность очистки газов, содержащих незначительные количества твердой фазы в виде сажи и смолистых продуктов, аппаратами «мокрой» газоочистки невелика. Поэтому для переработки дымовых газов, образующихся при сжигании отходов органического теплоносителя, принята «сухая» схема очистки.

Принципиальная схема газоочистки опытной установки приведена на рисунке 4.1. Схема содержит два фильтра - металлотканевый (МТФ) и тонковолокнистый, допуская раздельное и последовательное их включение. Эти типы текстильных фильтров были испытаны в первой серии экспериментов.

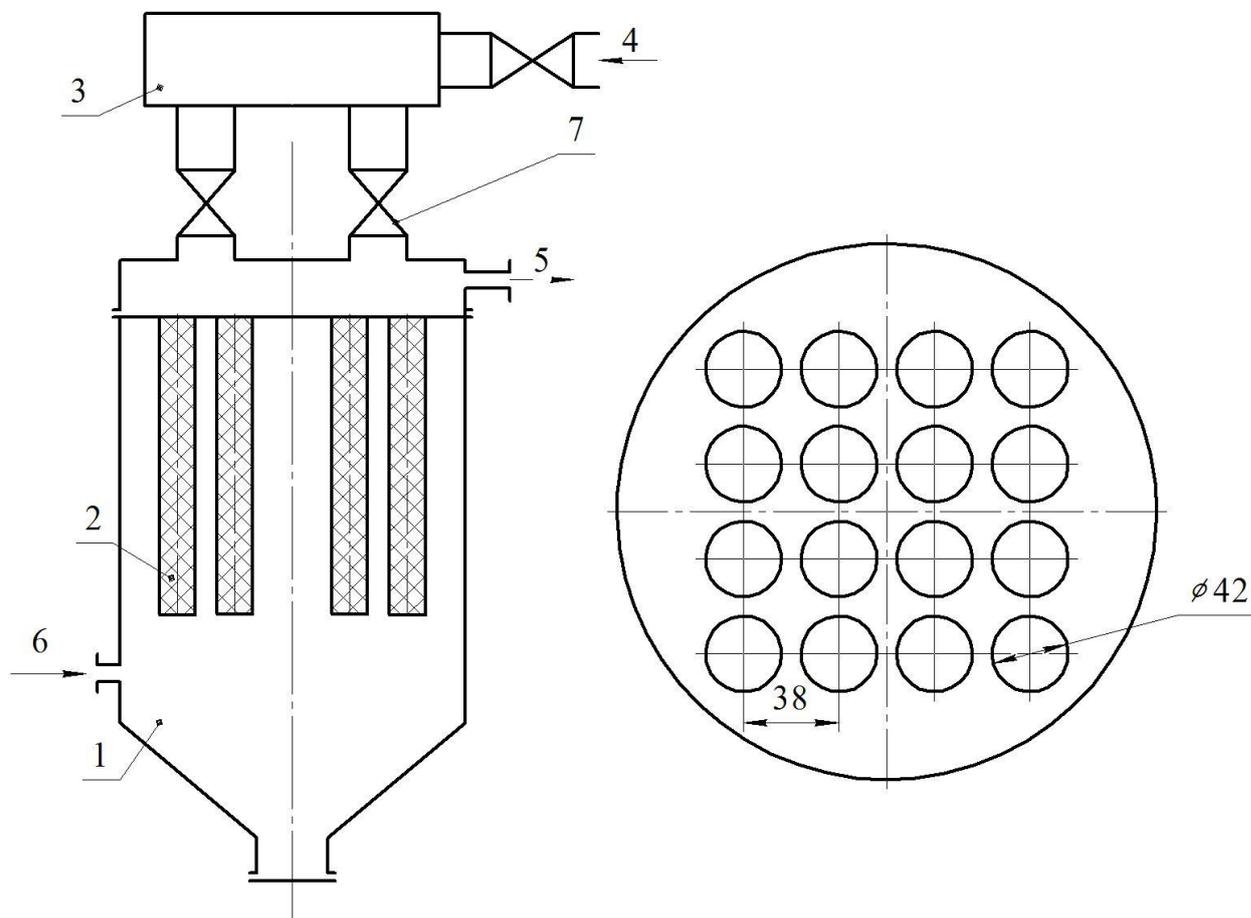
Дымовые газы из печи поступают в трубчатый теплообменник 2, где они охлаждаются до температуры 150 – 300 °С. Затем газ направляется на металлотканевый фильтр 3, где очищается от основной части дисперсной фазы. Далее происходит дополнительное охлаждение газа в холодильнике 4 до температуры 50 - 60 °С. После этого газ проходит стадию тонкой доочистки в фильтре ТВФ 5 и дымососом 6 выбрасывается в атмосферу. Охлаждающий воздух подается в теплообменник и холодильник вентилятором 7.



1 - печь УГ-100; 2 - теплообменник кожухотрубчатый; 3 - фильтр металлотканевый (МТФ); 4 - холодильник; 5 - фильтр тонковолокнистый (ТВФ); 6 - дымосос; 7 - вентилятор; а, б, с - точки отбора проб.

Рисунок 4.1. Схема газоочистки опытной установки

Схема испытуемого металлотканевого фильтра показана на рисунке 4.2. Внутри цилиндрического корпуса фильтра установлена перегородка, разделяющая зоны запыленного и очищенного газа.



1 - корпус фильтра; 2 - фильтрующий элемент; 3 - ресивер; 4 - вход сжатого воздуха в ресивер; 5 - выход очищенного газа; 6 - вход запыленного газа; 7 - кран.

Рисунок 4.2. Металлотканевый фильтр (МТФ)

В перегородке укреплены 16 фильтрующих элементов, разделенных на 4 секции. Фильтрующий элемент выполнен из фильтровой нержавеющей сетки №120 (ГОСТ 3187-72), прикрепленной точечной сваркой на цилиндрический каркас типа «беличье колесо». Общая площадь

фильтрующей поверхности равна $0,8 \text{ м}^2$. Регенерация фильтрующих элементов проводится, посредством их продувки обратным током воздуха.

Для улучшения эффективности очистки дымовых газов от взвешенных частиц и облегчения регенерации фильтрующих элементов осуществляли предварительное напыление фильтрующей поверхности вспомогательным материалом. В качестве такого материала в опытах использовали древесную золу (липа, береза) фракции - 0-1 мм в количестве 150 г/м^2 . Для предотвращения конденсации влаги на напыленном фильтрующем слое был предусмотрен электроподогреватель, разогревающий МТФ снаружи до температуры $150\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Исследование тонкой доочистки газов после МТФ осуществляли на тонковолокнистом фильтре из ткани Петрянова типа ФПП-15-4,5. Конструктивно фильтр состоит из кожуха, в который вставлен цилиндрический алюминиевый каркас. Фильтрующий материал можно было заменять для изучения эффективности очистки другими видами фильтровальных тканей.

Технические параметры узла газоочистки приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Технические характеристики экспериментального узла газоочистки

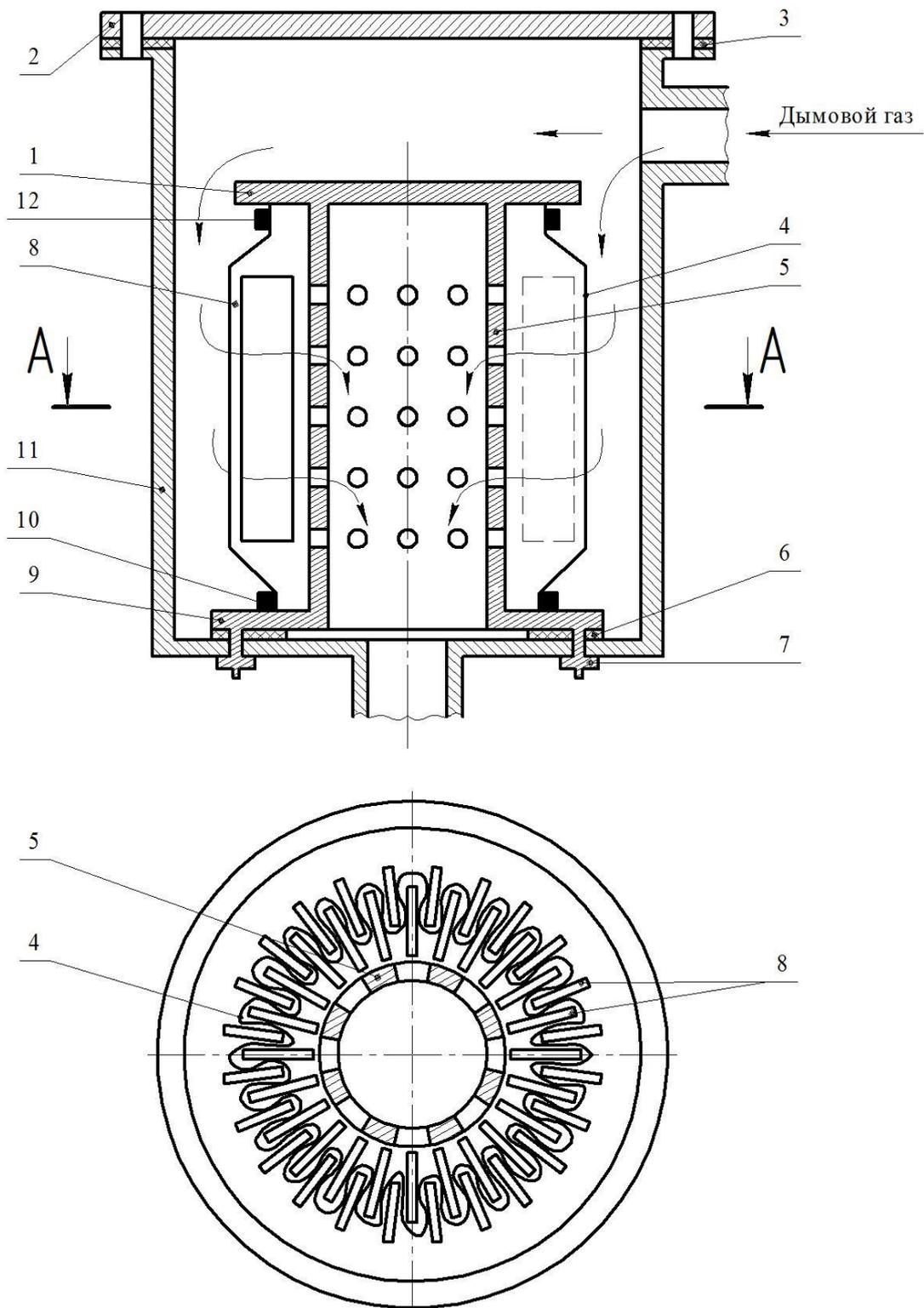
Параметры	Значение
Расход дымовых газов на очистку, $\text{нм}^3/\text{ч}$	50-100
Потребляемая электрическая мощность, кВт	8
Расход вентиляторного воздуха на охлаждение дымовых газов, $\text{нм}^3/\text{ч}$	до 500
Температура дымовых газов на входе в узел газоочистки, $^\circ\text{C}$	600-300
Температура дымовых газов перед металлотканевым фильтром, $^\circ\text{C}$	150-300
Температура дымовых газов перед тонковолокнистым фильтром, $^\circ\text{C}$	50-60

Во второй серии экспериментов были проведены исследования с целью определения работоспособности и эффективности очистки дымовых газов

стекловолокнистым фильтром СВФ (рисунок 4.3) [69]. Этот фильтр предполагалось использовать в качестве второй ступени (после металлотканевого фильтра) фильтрации дымовых газов при температуре, превышающей точку кипения воды и ДТМ (100 и 292 °С). В экспериментах испытывали фильтрующий материал из стекловолокна УТСВ с диаметром волокон 1,5 мкм. Фильтр исследовали при температуре 350 °С, Площадь фильтрации составляла 2,5 м², поверхностная плотность - 800 г/м². Эксперименты предусматривали исследование работоспособности отдельно СВФ на очищенном дымовом газе и в комбинации - металлотканевый плюс стекловолокнистый фильтры.

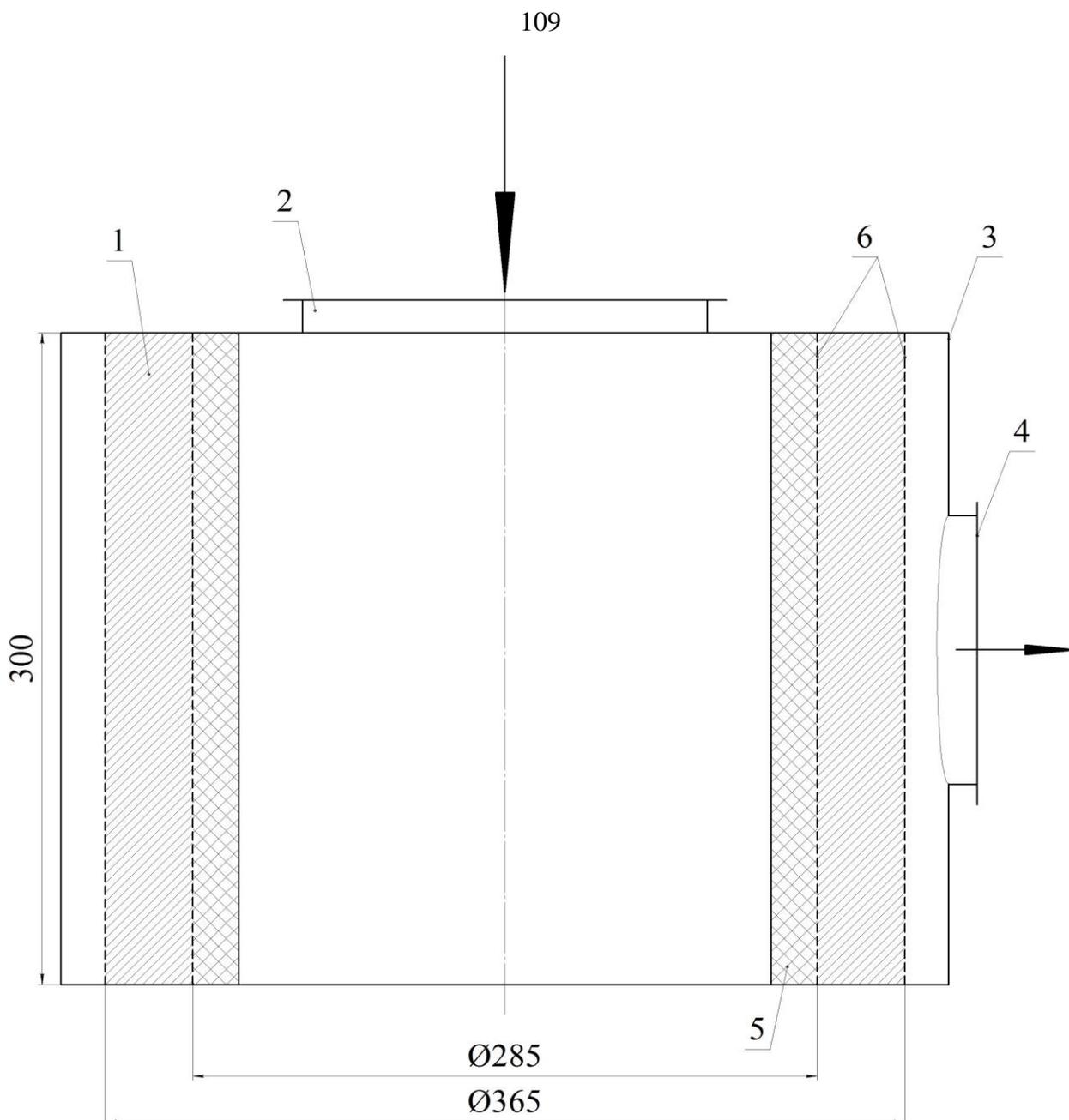
В следующей серии экспериментов была исследована работоспособность промышленного угольного фильтра при очистке дымовых газов от радиойода. Возможность использования угольных сорбентов для «сухой» очистки дымовых газов от радиойода не очевидна в силу целого ряда мешающих факторов: наличия углекислоты, угарного газа, паров воды (до 70 г/м³), окислов азота, паров несгоревших органических жидкостей. Чтобы решить вопрос о возможности использования угля были проведены исследования на стандартном фильтре - поглотителе ФПУ-200, выпускаемом отечественной промышленностью (рисунок 4.4). Фильтр снаряжен активированным углем, стойкость которого в условиях опыта оценивалась по его способности сорбировать молекулярный йод, меченный изотопом йод-131. Исследования проводили при режимах, рекомендованных паспортом на эти фильтры:

- предельный расход газа через фильтр - 100 м³/ч;
- скорость фильтрации - 2,8 м/с;
- рабочая температура фильтра - 50 °С.



1 - дно фильтрующего элемента; 2 - крышка фильтра; 3, 6 - асбестовая прокладка; 4 - стекломат; 5 - перфорированный стакан; 7 - крепежные шпильки; 8 - гофрированные сепараторы; 9 - выходной фланец; 10, 12 - хомуты стяжные; 11 - корпус фильтра.

Рисунок 4.3. Стекловолоконный фильтр



1 - слой «шихты», т.е. засыпки активированного угля; 2 - входной штуцер очищаемого газа; 3 - корпус фильтра; 4 - выходной штуцер для очищенного газа; 5 - слой фильтровальной ткани Петрянова, сложенный в радиальные гофры; 6 - сетка.

Рисунок 4.4. Устройство фильтра ФПУ-200

В экспериментах дымовой газ из печи после охлаждения до 270 °С и очистки на металлотканевом и стекловолкнистом фильтрах и второго

охлаждения до 50-55 °С поступал в испытуемый угольный фильтр. Сжигаемые отходы дитолилметана не содержали радиойода (отходы после выдержки 2-5 мес.). Поэтому изотоп йод-131 искусственно вводили в поток очищаемых дымовых газов в форме керосинового экстракта молекулярного йода. Точка ввода расположена на заборной трубе узла газоочистки в области максимальной температуры (около 760 °С).

В экспериментах по изучению возможности «сухой» очистки дымовых газов, образующихся после сжигания обводненных отходов (отходы органического теплоносителя с большим содержанием воды и (или) водного раствора моющих средств), испытывали два типа промышленных аэрозольных фильтров ПФГС-500 и ПФТС-500. Оба фильтра имеют фильтрующий слой из стекломата с поверхностной меткостью 300 и 600 г/м², соответственно, и площадью фильтрации 5 м². Фильтры цилиндрические с габаритами: диаметр - 300 мм, высота - 1000 мм. Производительность фильтров - по 500 м³/ч, скорость фильтрации - 2,77 см/с. Начальное аэродинамическое сопротивление - 560 Па. Термостойкость фильтров - до 500 °С.

Водный раствор моющих средств имитировал ожидаемые водные стоки реактора АТ- 15х2 согласно его схеме (рисунок 4.3) и был близким по составу стокам установки АСТ-1. Прокаленный остаток исходных неупаренных отходов составлял 2,5 г/л (прокаливание при 600 °С). Состав примесей раствора следующий (в массовых долях): тринатрийфосфат - 67,4%, гексаметафосфат - 2,8%, сода - 4,3%, щавелевая кислота - 25,5%. В соответствии с проектом водные отходы должны упариваться в 20-30 раз до направления их на установку сжигания совместно с отходами органического теплоносителя. Поэтому в экспериментах концентрация примесей в упаренных отходах достигала 150 г/л.

Испытания проводили при температуре фильтров и очищаемых газов 300-320 °С, Расход газов на фильтр составлял 100 м³/ч. Пылеемкость фильтров определяли при возрастании их сопротивления до 4 кПа.

Эффективность очистки дымовых газов от радионуклидов оценивали двумя способами. Первый способ заключался в сравнении концентраций радионуклидов в газе до и после фильтров. Этот способ использовался для долгоживущих радионуклидов, присутствующих в дыме в аэрозольной форме. Он же применялся и для радиойода в «допроскоковый» начальный период работы угольного фильтра. В стационарном режиме непрерывной («послепроскоковый») работы угольного фильтра использовался хроматографический (импульсный) опыт с последующим расчетом коэффициента очистки. Определение коэффициентов очистки дымовых газов испытуемых фильтров производили по результатам измерений общей активности аналитических фильтров и по отдельным радионуклидам. Для отбора проб использовали фильтры типа АФА-РМП-20. Активность проб измеряли на бета-радиометре малого фона и гамма-спектрометрической установке с полупроводниковым детектором.

4.2. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

4.2.1. Исследование эффективности очистки дымовых газов с помощью комбинации металлотканевого и тонковолокнистого фильтров

Сжигаемые отходы органического теплоносителя в опытах содержали (в % по массе): от 30 до 80% высококипящих, в 5-10 раз меньше низкокипящих (толуол, бензол, ксилол) продуктов разложения ДТМ, не более - 0,1% воды, остальное - дитоллилметан. Концентрация бета-излучающих радионуклидов находилась в пределах 10^2 - 10^5 Бк/л. Состав радионуклидов представлен в таблице 4.2.

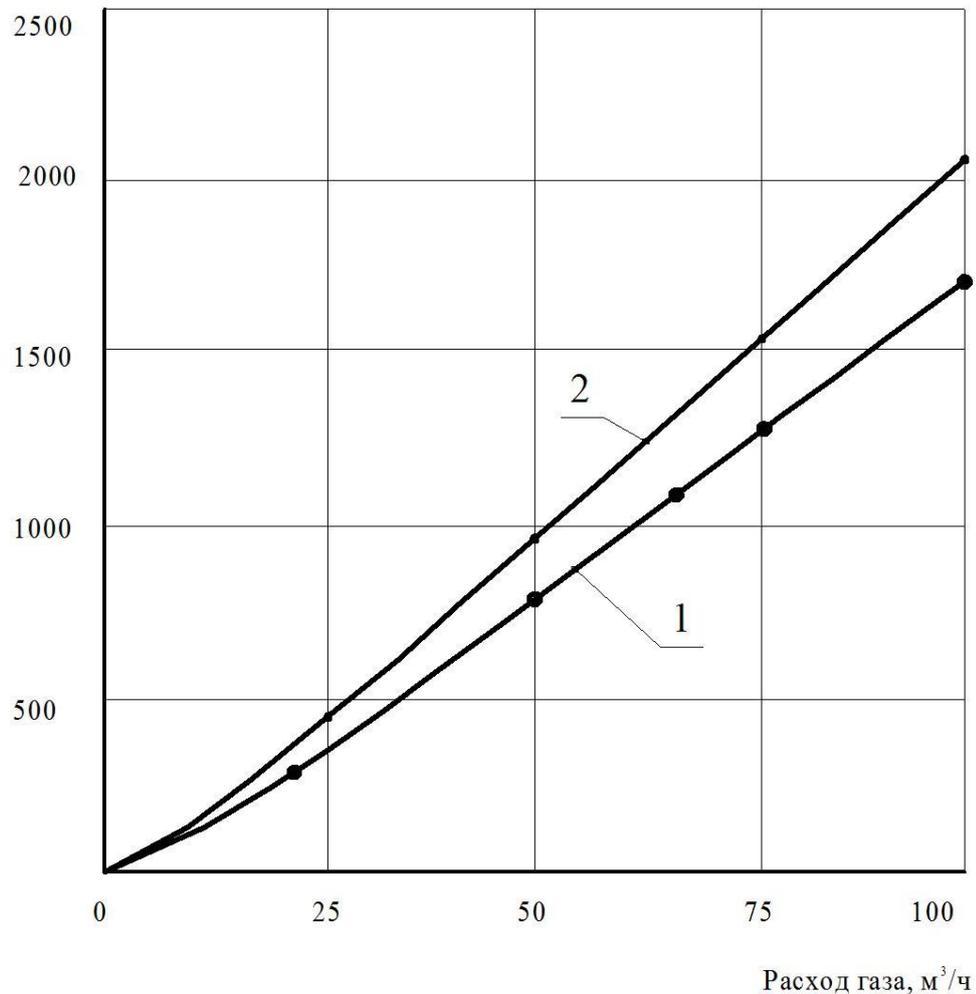
Таблица 4.2

Средний состав радионуклидов в сжигаемых отходах ДТМ

Радионуклид	Относительная активность, %
Цезий - 137	59,3
Цезий - 134	1,9
Марганец -54	11,2
Кобальт- 60	21,7
Цинк - 65	5,9
ИТОГО	100

При исследовании эффективности МТФ было проведено два опыта с напылением фильтрующих элементов древесной золой. При первом напылении была снята зависимость аэродинамического сопротивления металлотканевого фильтра от расхода газа (рисунок 4.5). Расход газа изменяли от 0 до 100 м³/ч, что соответствовало скорости фильтрации от 0 до 2,5 см/с. Для сравнения приведена такая же зависимость для фильтра без напыления. Зависимости близки к линейным и отличаются по аэродинамическому сопротивлению примерно в 1,5 раза. На номинальном расходе 50 м³/ч сопротивление свеженапыленного фильтра равно 900 Па.

После очистки 7600 м^3 дымового газа оно достигло 2190 Па , а коэффициент сопротивления фильтрующего слоя повысился до 1470 Па/см/с . К этому моменту на фильтр поступило $14,3 \text{ г}$ взвесей из расчета на 1 м^2 . Фильтр был подвергнут регенерации фильтрующей поверхности путем обратной продувки сжатым воздухом. После регенерации сопротивление МТФ уменьшилось до значения близкого чистому фильтру. Визуальный осмотр фильтра показал, что обратная продувка сбросила с сеток около $3/4$ фильтрующего слоя. Отработанный слой представлял собой запекающуюся корочку золы, пропитанную сажей и смолистой органической массой. После нового напыления золы опыты были продолжены.



1 – без напыления; 2 – после напыления золой.

Рисунок 4.5. Зависимость аэродинамического сопротивления МТФ от расхода газа.

На рисунке 4.6 показано изменение коэффициента очистки от радионуклидов в зависимости от отношения объема прокачанного дыма к площади фильтра. Он нарастал по мере работы фильтра с исходной величины 7-15 до нескольких сотен за первые 10 часов работы (формирование фильтрующего слоя). Затем коэффициент очистки вырос до $2 \cdot 10^4$ (при сопротивлении фильтра около 2 кПа). Разброс экспериментальных значений объясняется в основном низкой точностью измерений слабоактивных проб взвешенных частиц.

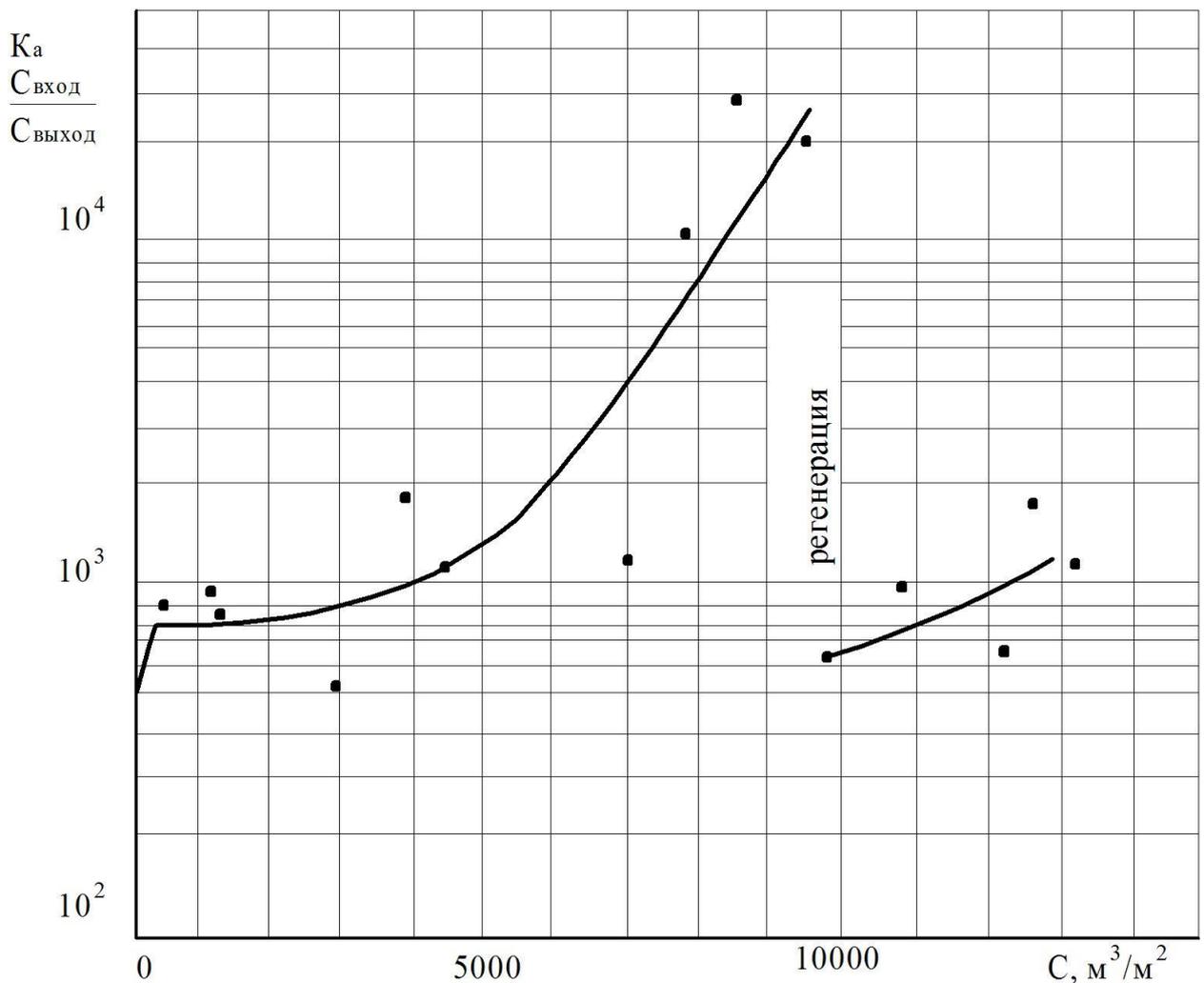


Рисунок 4.6. Коэффициент очистки K_a от радионуклидов по суммарной активности для металлканевого фильтра в зависимости от отношения «С» объема прокачанного дыма к площади фильтра.

Полученные результаты подтвердили правильность выбора фильтра для первой ступени газоочистки установки сжигания отходов органического

теплоносителя. Межрегенерационный период МТФ, рассчитанный на основе экспериментальных данных, составляет около 10^3 ч при допустимом аэродинамическом сопротивлении 4 кПа.

Оценка нижней границы коэффициента очистки тонковолокнистого фильтра из ткани типа ФПП-15-4,5 показала, что в условиях опыта он очищает газ, прошедший первую ступень очистки, дополнительно не менее, чем в 10 раз от нелетучих радионуклидов по их суммарной активности. Результаты изучения работоспособности металлотканевого фильтра при сжигании обводненных отходов органического теплоносителя рассмотрены ниже в разделе 4.2.4.

4.2.2. Изучение эффективности очистки дымовых газов на стекловолокнистом фильтре при сжигании кубового остатка с малым временем выдержки

Исследование работы металлотканевого фильтра показало, что он в некоторых случаях может оказаться ненадежным барьером на пути радиоактивных аэрозолей. Основных причин две. Во-первых, в начальные 10 часов работы МТФ, когда напыленный слой золы еще достаточно не сформировался (уплотнился), его эффективность очистки низка ($K_{оч} \approx 10$). Во-вторых, в течение длительного времени работы фильтра всегда есть вероятность выхода из строя его фильтрующего слоя. Это может произойти либо вследствие осыпания золы при прекращении тяги, либо вследствие разрушения его опоры, металлоткани (мелкоячеистой сетки) по причине коррозии и т.п. Поэтому для второй ступени очистки необходимо иметь фильтр с большей емкостью по пыли, чем тонковолокнистый фильтр из ткани ФПП-15. Кроме того, тонковолокнистый фильтр, из-за близости точки росы дымовых газов (35-60 °С для воды) к верхнему температурному пределу работоспособности этой ткани (60 °С), является малоэффективным при очистке дымовых газов с повышенной влажностью.

Поэтому в качестве второй ступени фильтрации был испытан фильтрующий материал из стекловолокна (рисунок 4.3.). Эксперименты проводили при сжигании отходов органического теплоносителя с малым временем выдержки (от одного до шести дней).

Полученные значения коэффициентов очистки дымовых газов на стекловолокнистом фильтре СВФ по суммарной активности лежат в пределах 200-1200. Данные о парциальных коэффициентах очистки для некоторых радионуклидов с преобладающей активностью и достаточно большим периодом полураспада приведены в таблице 4.3.

Парциальные коэффициенты очистки дымовых газов от некоторых радионуклидов на стекловолоконном фильтре

Наименование радионуклида	Парциальный коэффициент очистки на СВФ
Кобальт - 60	>8
Цирконий-97, Ниобий-97м	>300
Цирконий-95	642±70
Ниобий-95	637±280
Рутений-103	36±3
Йод-131	10±1
Йод-133	27±3
Теллур-132, Йод-132	550±61
Цезий-137	>6
Барий-140	>2690
Лантан-140	11700±2800
Церий-143	>446

Примечание: в таблице указана только часть погрешности, обусловленная неточностью измерения активности.

Разброс значений коэффициентов очистки объясняется неоднородностью взвешенных частиц дыма по активности, а также ошибками в измерении радионуклидов с малой активностью.

Осмотр фильтрующего элемента СВФ, произведенный после его вскрытия по истечении 90 часов работы при температуре 380 °С, показал удовлетворительное состояние фильтрующего слоя и элементов металлического каркаса. Жидкую фазу (ДТМ или продукты его радиолиза), а также воду визуалью в осадке не наблюдали, несмотря на высокую постоянную концентрацию воды (до 60 г/м³) и периодическое наличие паров указанных органических примесей в очищаемом дымовом газе (в период розжигов и внезапных угасаний печи).

При совместной работе включенных последовательно МТФ и СВФ и

минимальных коэффициентах очистки, наблюдавшихся в начальный период работы этих фильтров (7 и 200 соответственно), их общий коэффициент очистки равен не менее 1400. При дальнейшей работе системы очистки он будет возрастать. В случае внезапного выхода из строя фильтрующего слоя МТФ общий коэффициент очистки не упадет ниже 200. Выход из строя СВФ практически не приведет к снижению коэффициента очистки ниже значения, обусловленного МТФ. Выход из строя одновременно обоих фильтров маловероятен. Следовательно, применение СВФ второй степени фильтрации удовлетворительно решает задачу ограничения радиоактивных выбросов в атмосферу из установки сжигания отходов органического теплоносителя. Отечественная промышленность выпускает фильтры из данных материалов, обладающие необходимой термостойкостью (фильтры типа «ФАРТОС»). Выпускаемые типоразмеры фильтров (на расход газа 500 и 2500 м³/ч) могут быть использованы для комплектации газоочистной установки на АСТ.

4.2.3. Исследование эффективности улавливания йода и других золь промышленным угольным фильтром

Испытанию были подвергнуты два фильтра-поглотителя ФПУ-200. Один из фильтров перед началом опыта проработал 10 часов в схеме испытания при отработке теплового режима установки газоочистки. За это время печь дважды угасала. Это привело к тому, что нижняя часть слоя угля в фильтре пропиталась конденсатом сжигаемых отходов. В результате наблюдали проскок радиойода при прохождении первых 1200 м^3 газа, верхняя, сухая часть слоя угля этого фильтра и второй фильтр в опытах показали свою работоспособность до объема удерживания равного 2600 м^3 . Сопоставляя полученный объем удерживания (2600 м^3) с объемом угольного сорбента в фильтре ($0,013 \text{ м}^3$), получим, что до смачивания конденсатом сжигаемых отходов активированный уголь в условиях опытов имел динамический коэффициент (Γ) сорбции молекулярного йода, равный $2 \cdot 10^5 \text{ м}^3 \text{ (дыма)}/\text{м}^3 \text{ (угля)}$. До начала проскока фильтр ФПУ-200 очищал дымовые газы от радиойода в (3600 ± 1200) раз. После проскока, вызванного намочением угольного сорбента, слой угля перестал улавливать пары йода и начал работать как малоэффективный аэрозольный фильтр. Измерения аэрозольной активности на входе и выходе фильтров дали невысокий и неустойчивый коэффициент очистки превосходящий 10.

На основании этих результатов были: сделаны выводы о непригодности угольных фильтров для «сухой» очистки дымового газа от радиойода на АСТ из-за неизбежной концентрации паров сжигаемых отходов (особенно при розжиге и угасании печи) и возможной конденсации влаги. Альтернативным способом снижения выбросов радиойода (и других короткоживущих радионуклидов) в атмосферу является предварительная выдержка жидких отходов органического теплоносителя в проточной емкости до их сжигания. Для 10-15 краткой очистки вместимость емкости выдержки, например, для станции АТУ-15х2 должна составлять около 40 м^3 .

4.2.4. Изучение эффективности очистки дымовых газов при сжигании обводненных отходов органического теплоносителя

Ранее приведенные исследования подтвердили техническую возможность совместной огневой переработки радиоактивных сточных вод и отходов органического теплоносителя (дилолилметана). Для этого пригоден способ сжигания в форсуночной печи эмульсии, приготовленной из этих компонентов посредством гидроструйного ультразвукового смесителя – гомогенизатора. Достигнуто надежное сжигание эмульсии с содержанием 16 % сточных вод, с повышением стойкости эмульсии возможно сжигание смеси до 30 % сточных вод.

При огневой переработке сточных вод, как показали исследования, металлотканевый фильтр с предварительно напыленным фильтрующим подслоем (древесная зола) позволяет осуществлять достаточно глубокую очистку дымовых газов. Коэффициент очистки в этом случае составляет 10^3 и более по общей активности долгоживущих радионуклидов. Однако, фильтр быстро забивается и его ожидаемый межрегенерационный период составляет 2 - 8 суток. Фильтр практически не поддается регенерации ни способом обратной продувки, ни способом выжигания (при 600 °С) из-за высокой плотности и зольности осадка. Работать без регенерации на этом фильтре невозможно из-за малой его пылеемкости (42 г/м^2 при перепаде 4 кПа) и большой массы минеральных веществ, содержащихся в перерабатываемых сточных водах. В последующих экспериментах была изучена работоспособность фильтров на основе термостойкого стекловолокна - промышленные фильтры ПФТС-500 и ПФГС-500. Условия и методика экспериментов описаны выше (раздел 4.1). Для испытания фильтров на пылеемкость сжигалась эмульсия, состоящая из 85 % жидких органических отходов, имеющих весьма низкую ($> 10 \text{ мг/л}$) зольность и 15 % концентрата жидких водных радиоактивных отходов с содержанием моющих средств до 150 г/л. В результате экспериментов было установлено, что в диапазоне

скоростей фильтрации от 1 до 3 см/с пылеемкость обоих типов фильтров (до сопротивления 4 кПа) составляет (30 ± 10) г (пыли)/ м² (фильтрующего слоя). К моменту исчерпания ресурса лобовой слой фильтров оказывается покрыт плотной коркой пыли толщиной до 0,3 мм, которая почти не проникает внутрь стекломата. Характер отложений и скорость нарастания сопротивления одинаковы для обоих фильтров. Оценка показывает, что объем перерабатываемых сточных вод, отнесенный к 1 м² фильтрующей поверхности, составляет около 12 л/м². Например, одним фильтром ПФТС-500 ($C=5$ м²) можно очистить дымовые газы от сжигания не более 60 л сточных вод. Сравнивая с объемом фильтра 90 л, видим, что в результате огневой переработки сточных вод объем радиоактивных отходов увеличивается в 1,5 раза. Учитывая, что по сравнению с исходными сточными водами загрязненные фильтры представляют радиационно более опасные твердые пылящие отходы и их захоронение потребует предварительного прессования, следует признать способ огневой переработки сточных вод нецелесообразным. Он проигрывает по сравнению с вариантом отдельной переработки сточных вод путем их упаривания и последующего захоронения концентрата. Совместная огневая переработка сточных вод с отходами органического теплоносителя возможна только при сбросе дымовых газов в атмосферу без очистки от радионуклидов на фильтрах т.е. при сжигании низкоактивных отходов. При необходимости очистки от радионуклидов водные отходы АСТ с органическим теплоносителем, содержащие минеральные примеси, должны перерабатываться отдельно от органических.

В процессе сжигания эмульсии органических отходов и концентрата жидких отходов моющих средств (концентрат упаренных сточных вод) оказалось, что для ее прокачки непригодны быстроходные насосы, в которых имеются трущиеся металлические поверхности, смазываемые перекачиваемой эмульсией. Например, непригодными оказались шестеренчатые или лопастные насосы с частотой вращения 1000-1500

об/мин. Они выходят из строя вследствие отложения солей из капелек водной фазы в зонах местного перегрева (подшипник, торец шестерен и т.п.). Опыт показывает, что для перекачки сточных вод и их смеси с органическими отходами (эмульсии) следует применять тихоходные (порядка 1 цикла в секунду) плунжерные насосы с гарантированным зазором между цилиндром и плунжером и с подачей на сальниковое уплотнение воды в качестве запорной жидкости.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. На основе результатов изучения состава, количества и вида образующихся продуктов, и анализа способов и работоспособности различного типа аппаратов газоочистки сделан вывод о целесообразности использования «сухой» схемы очистки дымовых газов от радионуклидов при сжигании отходов органического теплоносителя. Экспериментально показана необходимость двухступенчатой схемы очистки с использованием ТТФ.
2. При сжигании чисто органических отходов (без добавки водных стоков) в качестве фильтра первой ступени очистки дымовых газов от радионуклидов могут быть использованы металлотканевые фильтры с напыленным фильтрующим слоем из древесной золы.
3. Коэффициент очистки дымовых газов от нелетучих радионуклидов на этом фильтре возрастает по мере его работы от нескольких сотен до десятков тысяч.
4. Межрегенерационный период, рассчитанный на основе экспериментальных данных, составляет около 1000 часов при допустимом аэродинамическом сопротивлении 4 кПа.
5. Регенерация металлотканевых фильтров производится посредством их продувки обратным током воздуха.
6. В качестве второй ступени фильтрации, как показали исследования, целесообразно использовать аэрозольный фильтр с фильтрующим слоем из стекловолокна УТСЗ диаметром 1,5 мкм.
7. Фильтр из стекловолокна с поверхностной плотностью 800 г/м² при скорости фильтрации 0,5 - 1 см/с обеспечивает очистку дымовых газов с температурой 330 - 370 °С не менее чем в 200 раз по радионуклидам Кобальт – 60, Цирконий – 95, Ниобий – 95, Цирконий – 97, Рутений – 103, Йод – 131, Теллур – 132, Йод – 133, Цезий – 137, Барий – 140, Лантан – 140, Церий – 143 и суммарной активности бета - излучающих

нуклидов.

8. Для практического внедрения в качестве второй ступени очистки дымовых газов рекомендуется использовать фильтры типа «ФАРТОС», выпускаемые отечественной промышленностью. Применение их обеспечивает необходимую надежность газоочистной установки с металлотканевым фильтром (на первой ступени) при общем коэффициенте очистки не меньше 1400, что вполне удовлетворительно для АСТ с органическим теплоносителем.
9. Объем среднеактивных отходов, образующихся после переработки методом сжигания неизбежных жидких сбросов органического теплоносителя с последующей очисткой на металлотканевых и стекловолоконных фильтрах, сокращается на два - три порядка.
10. Для «сухой» очистки дымового газа от радиойода сорбенты на основе активированного угля (например, промышленные фильтры типа ФПУ - 200) не могут быть рекомендованы из-за температурных ограничений. Более надежным способом снижения выброса радиойода (и других короткоживущих радионуклидов) в атмосферу является выдержка жидких отходов органического теплоносителя в проточной емкости перед их сжиганием.
11. Проведенные исследования показали техническую возможность совместной огневой переработки радиоактивных сточных вод и отходов органического теплоносителя (дилолилметана). Для этого пригоден способ сжигания в форсуночной печи эмульсии, приготовленной из этих компонентов посредством гидроструйного ультразвукового смесителя - гомогенизатора. Надежно отработана схема сжигания эмульсии с содержанием 16 % сточных вод. С повышением стойкости эмульсии возможно сжигание смеси до 30 % сточных вод. При огневой переработке обессоленных водных отходов металлотканевый фильтр с предварительно напыленным фильтрующим подслоем (древесная зола) и фильтр из ультратонкого стекловолокна позволяют производить

достаточно глубокую (примерно на три - четыре порядка) очистку дымовых газов.

12. При совместном огневом обезвреживании минерализованных сточных вод и отходов органического теплоносителя металлотканевый фильтр быстро забивается, его межрегенерационный период составляет несколько дней. Это примерно в 20 раз меньше, чем в случае сжигания чисто органических отходов. Кроме того, из-за образования на фильтрующем слое плотной корки минеральных солей, фильтр практически не поддается регенерации ни способом обратной продувки, ни способом выжигания (при 600 °С). Применение в этом случае фильтров на основе ультратонкого стекловолокна (например, ПФТС-500, ПФГС-500) неприемлемо из-за малой их пылеемкости и увеличения объема радиоактивных отходов примерно в 1,5 раза.
13. Учитывая, что загрязненные фильтры представляют собой радиационно опасные твердые (пылящие) отходы и их захоронение потребует предварительного прессования, следует признать способ совместной огневой переработки минерализованных сточных вод и органических отходов теплоносителя нецелесообразным. Он проигрывает по сравнению с вариантом отдельной переработки сточных вод путем их упаривания и последующего захоронения концентрата.
14. Совместная огневая переработка сточных вод (с любым содержанием минеральных примесей) с органическими отходами возможна только при условии, если не требуется очистка от радионуклидов на фильтрах при сбросе дымовых газов в атмосферу. При этом для перекачки сточных вод и их смеси с органическими отходами (эмульсии) следует применять тихоходные (порядка 1 цикла в секунду) плунжерные насосы с гарантированным зазором между цилиндром и плунжером и с подачей на сальниковое уплотнение воды в качестве запорной жидкости.

ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ТТФ В ПРОИЗВОДСТВО

5.1. Виды фильтров, используемых в системах очистки ЖРО

В настоящее время в очистных сооружениях АЭС для очистки воды от взвесей и продуктов коррозии используются различные фильтровальные установки. Главным образом для этих целей используются засыпные зернистые фильтры, керамические. [9].

Высокая стоимость керамических фильтров обусловлена сложностью технологии их изготовления, которая предполагает подготовку зернистой массы к спеканию, необходимость использования дорогостоящих связующих материалов, а главное муфельных печей для спекания керамики, которые требуют больших затрат электроэнергии.

Керамические фильтры используются при низких концентрациях железа в воде, так как грязеемкость фильтровальной перегородки мала и требует периодической регенерации, а следовательно дополнительных затрат энергии и воды, что в свою очередь резко повышает себестоимость очистки одного кубометра воды. Фильтры из нетканых материалов, формируемых пневмоэкструзии расплава полимерных материалов на перфорированные патроны имеют высокую производительность, но ограниченную степень очистки воды, а главное данные фильтры обладают теми же недостатками, что и тканые фильтры, а именно высокой стоимостью и склонностью к «пробою» фильтровальной перегородки.

Наиболее широкое применение для очистки воды от излишнего взвесей и продуктов коррозии на АЭС получили зернистые засыпные фильтры. Они бывают с нисходящим (сверху вниз) и с восходящим (снизу вверх) потоком воды. Фильтры с нисходящим потоком воды могут иметь однослойную и многослойную загрузку объема фильтра кварцевым песком и гравием, либо мелким гранитным щебнем, антрацитом или керамзитом. Толщина слоев

засыпки и размеры частиц во фракциях строго регламентированы и обеспечивают требуемую скорость прохождения воды (скорость фильтрования).

Однако, эффективность очистки воды в данных фильтрах по вредным предельным концентрациям (ВПК) не превышает 50%, а по взвешенным частицам и веществам 70%. Основным недостатком существующей технологии является ее низкая эффективность и высокая стоимость ввиду больших затрат на приобретение, доставку и загрузку в фильтры фильтровальных компонентов (кварцевого песка, мраморной крошки и т.д.), процесс обслуживания фильтра также требует больших трудозатрат, затрат воды и электроэнергии на процессы регенерации (очистки) фракций обратным током воздуха. Также при замене фильтрующего материала образуются высокоактивные пульпообразные отходы. В бассейнах выдержки ОТВС такие фильтры работают байпасным методом, поэтому остается проблема удаления накопленного шлама продуктов коррозии из удаленных от места забора воды на очистку участков бассейнов.

Суммарная себестоимость очистки одного кубометра воды (с учетом содержания в ней железа) достигает 90-120 копеек, не может быть снижена из-за сложившихся цен на сырье и транспортные расходы.

Наиболее эффективным способом промышленной очистки бытовых и сточных вод от железа, марганца и других мелкодиспергированных частиц, является использование трубчатых текстильных фильтров. При использовании трубчатых текстильных фильтров полностью отпадает необходимость в засыпных фракциях, т.к. сам процесс очистки воды осуществляется за счет прохождения ее через слоисто-каркасную намотку ТТФ, обеспечивающего грубую и тонкую очистку от частиц до 1 мкм. При этом полностью исключается промывка фильтров, и, следовательно, все затраты, связанные с этим процессом. Заданная скорость и производительность обеспечивается установкой расчетного числа элементов трубчатых текстильных фильтров на сборный коллектор и может изменяться

в широких пределах. Себестоимость очистки одного кубометра воды ниже в 50-60 раз по сравнению с засыпными зернистыми фильтрами. Поэтому применение таких фильтров для очистки ЖРО является актуально.

5.2. Расчет себестоимости очистки одного кубометра воды от взвесей и продуктов коррозии

Исходные данные для расчета:

1. Объем очищаемой воды одним фильтром $Q = 15 \text{ м}^3/\text{час}$.
2. Стоимость одного фильтрующего элемента:
 - а.) перфорированная труба - $\text{Ø} 110 \text{ мм}$, $l=1,8 \text{ м}$ 250 руб.
 - б.) муфты соединительные - 2 шт. х 40 руб. 80 руб.
 - в.) заглушка 1 шт. 20 руб.
 - г.) каркас предфильтра (проволочный) 100 руб.
 - д.) чехол (ткань фильтровальная) 80 руб.
- Итого (без НДС) 530 руб.
3. Изготовление приемного коллектора из материалов заказчика по эскизам исполнителя (трубы металлические $\text{Ø}140\div 200 \text{ мм}$), длиной $L = 30 \text{ м} \cdot 30 \cdot 200 = 6000 \text{ руб.}$ - затраты на коллектор
4. Стоимость пряжи и намотки одного фильтра - 120 руб.
5. Производительность одного фильтрующего элемента $15 \text{ м}^3/\text{час}$.
6. Затраты на изготовление 1 фильтрующего элемента.

$$Z = n \cdot 650 = 1 \cdot 650 = 650, \text{ руб.} \quad (5.1)$$

7. Срок службы фильтра 1 год.

Объем воды, прошедший через фильтр за 1 год

$$Q_{\text{год}} = 15 \cdot 24 \cdot 365 = 131400, \text{ м}^3 \quad (5.2)$$

8. Затраты на комплектацию одного фильтра с объемом выпуска

$$Q = 15, \text{ м}^3/\text{час}$$

$$Z_{\text{общ}} = Z + Z_{\text{к}} = 650 + 6000 = 6650, \text{ руб.} \quad (5.3)$$

9. Затраты на монтаж и эксплуатацию при обслуживании двумя рабочими с месячной зарплатой 3700 руб.

$$Z_{\text{раб}} = 7400 \cdot 12 = 88800, \text{ руб./год} \quad (5.4)$$

10. Суммарные затраты в течение года, при смене фильтров через 6 месяцев:

$$Z = 2 \cdot Z_{\text{общ}} + Z_{\text{раб}} = 13300 + 88800 = 102100, \text{ руб./год} \quad (5.5)$$

11. Годовой объем очищаемой воды:

$$Q_{\text{год}} = 15 \cdot 24 \cdot 365 = 131400, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.6)$$

12. Себестоимость очистки 1-го м³ воды:

$$C = \frac{Z}{Q_{\text{год}}} = \frac{102100}{131400} = 0,78, \text{ (руб./м}^3\text{)} \quad (5.7)$$

5.3. Расчет годового экономического эффекта от внедрения в производство нового способа изготовления трубчатых текстильных фильтров

Для оценки эффективности применения нового способа изготовления фильтров приведен сравнительный анализ себестоимости выработки до регенерации насыпных фильтров и себестоимости фильтров, изготовленных способом намотки.

Трубчатые текстильные фильтры были изготовлены в условиях приготовительно-ткацкого производства ОАО «КОВРОТЕКС» г. Димитровград, насыпные песчаные (кварцевые) изготовлены в условиях ОАО «ГНЦ НИИАР», а экономический эффект был рассчитан путем сравнения разности затрат на изготовление фильтрующих элементов с одинаковым сроком эксплуатации для очистки ЖРО в бассейнах выдержки ОТВС.

Данный расчет приведен для сравнения затрат материала при их равной производительности от начала эксплуатации до утилизации фильтрующих элементов.

Таблица 5.1

Себестоимость изготовления насыпного фильтра.

Статьи затрат	Един. измер.	Цена един, руб.	Кол-во	Сумма, руб.
I. Материалы				
1. Фильтр, раствор коагулянта	кг	960	0,15	144
2. Вспомогательные материалы	шт	1300	1	1300
Итого		-	-	1344
II. Электроэнергия	кв/час	1,15	1,3	1,5
III. Заработная плата: основная	-	-	-	10
дополнительная(20%)	-	-	-	2
Итого ФОТ				12
IV. Начисления				

1. Социальное страхование 2,9% от ФОТ				0,29
2. Пенсионный фонд 28% от ФОТ				3,36
3. Медицинское страхование 2,0% от ФОТ				0,432
4. Фонд занятости 1,0% от ФОТ				0,2
5. Транспортные расходы 1% от ФОТ				0,12
Итого				4,402
V. Цеховые накладные расходы 150% от ФОТ				18
Цена отпускная				123,4
Итого				1379,902

Себестоимость изготовления насыпного фильтра с объемом коагулянта 1,5 м³ составляет $C_1=1379,902$.

Таблица 5.2

Себестоимость изготовления 1 погонного метра пористой перегородки способом намотки

Статьи затрат	Един. измер.	Цена един, руб.	Кол-во	Сумма, руб.
I. Материалы				
1. Текстильная нить	кг	70,5	0,19	13,395
2. Перфорированный патрон	шт	65	1	65
3. Вспомогательные материалы	-	-	-	10
Итого	-	-	-	88,4
II. Электроэнергия	кв/час	1,15	1,3	1,5
III. Заработная плата: основная	-	-	-	10
дополнительная(20%)	-	-	-	2
Итого ФОТ				12
IV. Начисления				
1. Социальное страхование 2,9% от ФОТ				0,29
2. Пенсионный фонд 28% от ФОТ				3,36
3. Медицинское страхование 2,0% от ФОТ				0,432
4. Фонд занятости 1,0% от ФОТ				0,2
5. Транспортные расходы 1% от ФОТ				0,12

Итого				4,402
V. Цеховые накладные расходы 150% от ФОТ				18
Цена отпускная				110,808
Итого				110,808

Себестоимость 1 погонного метра ТТФ составит $C_2 = 110,808$ руб.

На оснащение станции очистки требуется 140 погонных метров фильтров.

Стоимость всех фильтров составит

$$110,808 \cdot 140 = 15513,12 \text{ руб.} \quad (5.8)$$

Годовой экономический эффект от внедрения нового способа изготовления фильтровальных перегородок составит.

$$\mathcal{E} = C_1 - C_2 = 1379,902 - 110,808 = 1269,094 \text{ руб.} \quad (5.8)$$

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5

1. Наиболее эффективным является внедрение в очистные сооружения трубчатые текстильные фильтры, обладающие рядом преимуществ перед остальными типами фильтров.
2. Трубчатые текстильные фильтры обладают меньшей стоимостью, более устойчивы к разрушению от действий давления и не приводят к образованию пульпообразных отходов.
3. Экономический эффект от внедрения трубчатых текстильных фильтров может быть получен за счет уменьшения затрат при их формирований (по оплате труда, расхода на вентиляцию и отопление, расходов на электроэнергию и т.д.).
4. Годовой экономический эффект был рассчитан за счет сравнения разности затрат на изготовление кварцевого фильтра с объемом фильтрующего слоя $1,5 \text{ м}^3$ пП с затратами на изготовление пористой перегородки ТТФ той же плотности с использованием слоисто-каркасной намотки изготовленных в условиях пригответельноткацкого производства ОАО «КОВРОТЕКС» г. Димитровграда, который составил 1 269 094 рублей в год.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Анализ литературных источников показал, что существующие методы переработки жидких отходов, не в полной мере эффективны и требуют дополнительных исследований.
2. Основными недостатками существующих фильтров является их высокая стоимость фильтроматериалов, сложность эксплуатации, низкая эффективность, сложность утилизации и образование пульпообразных отходов.
3. Наиболее эффективными являются фильтры с цилиндрической формой фильтрующей перегородки чем с плоской т.к. при одинаковых габаритах фильтра фильтрующая поверхность у цилиндрических фильтров больше.
4. В зависимости от структуры намотки фильтрующего слоя, меняются свойства фильтрующих перегородок.
5. При увеличении радиуса фильтровальной перегородки скорость фильтрации гиперболически уменьшается.
6. В зависимости от вида намоток и их комбинаций пористость, а следовательно проницаемость меняются.
7. Наименьшей проницаемостью обладают фильтровальные перегородки ТТФ имеющие сомкнутую структуру намотки нити на перфорированный патрон.
8. Скорость фильтрации и производительность фильтра будет зависеть от перепада давлений на фильтровальной перегородке, вязкости фильтрата и его удельного веса.
9. В трубчатых текстильных фильтрах наблюдается неравномерность распределения давления фильтруемой жидкости по толщине фильтровальной перегородки. Наибольший перепад давлений происходит на внутренних слоях намотки.
10. Коэффициент фильтрации пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров в значительной мере определяется пористостью

самих перегородок, зависящей от удельной плотности, а, следовательно, и от их структуры намотки.

11. Зависимость коэффициента фильтрации пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров от их пористости носит параболический характер.
12. Давление внешних слоев намотки на внутренние слои, а также давление на намотку аэрируемой жидкости могут вызвать деформацию (сплющивание) основания (ствола) ТТФ, поэтому необходимо правильно рассчитывать остоу трубчатых текстильных фильтров.
13. Проведенные исследования в бассейне выдержки ОТВС указывают на то, что при использовании существующая система очистки требует доработки, т.к при заборе воды остаются застойные участки.
14. Испытание модульного патронного фильтра показало возможность использования ТТФ в системах очистки ЖРО, фильтрующий материал обладает радиационной стойкостью, очистка от взвесей и продуктов коррозии с такими фильтрующими элементами достаточно эффективна, при этом на фильтрующий слой частично сорбируются радионуклиды.
15. При сжигании чисто органических отходов (без добавки водных стоков) в качестве фильтра первой ступени очистки дымовых газов от радионуклидов могут быть использованы металлотканевые фильтры с напыленным фильтрующим слоем из древесной золы.
16. Коэффициент очистки дымовых газов от нелетучих радионуклидов на таком фильтре возрастает по мере его работы от нескольких сотен до десятков тысяч.
17. Регенерация металлотканевых фильтров производится посредством их продувки обратным током воздуха.
18. В качестве второй ступени фильтрации, как показали исследования, целесообразно использовать аэрозольный фильтр с фильтрующим слоем из стекловолокна.
19. Фильтр из стекловолокна с поверхностной плотностью 800 г/м² при

скорости фильтрации 0,5 - 1 см/с обеспечивает очистку дымовых газов с температурой 330 - 370 °С не менее чем в 200 раз по радионуклидам.

20. Проведенные исследования показали техническую возможность совместной огневой переработки радиоактивных сточных вод и отходов органического теплоносителя (дилолилметана). Для этого пригоден способ сжигания в форсуночной печи эмульсии, приготовленной из этих компонентов посредством гидроструйного ультразвукового смесителя - гомогенизатора. Надежно отработана схема сжигания эмульсии с содержанием 16 % сточных вод. С повышением стойкости эмульсии возможно сжигание смеси до 30 % сточных вод. При огневой переработке обессоленных водных отходов металлочаневый фильтр с предварительно напыленным фильтрующим подслоем (древесная зола) и фильтр из ультратонкого стекловолокна позволяют производить достаточно глубокую (примерно на три - четыре порядка) очистку дымовых газов.
21. Использование ТТФ при очистке вод бассейнов выдержки позволяет достичь экономии в 1 269 094 рублей в год. В расчете, если его использовать для облегчения перегрузочных операций, в дополнение к штатному, в замен насыпному с одинаковыми параметрами фильтрации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Аравин, В.И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В.И. Аравин, С.Н. Нумеров. – М., 1952.
2. Бабаев, Н.С. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда / Н.С. Бабаев, В.Ф. Демин, Л.А. Ильин [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 294 с.
3. Банков, С.Н. Карманный технический справочник ОНТИ. ПНТП, СССР. – 1939.
4. Барбаумов В.Е. Справочник по математике для экономистов / В.Е. Барбаумов, В.И. Ермаков, И.Н. Кривенцова. – М. : Высшая школа, 1987. – 336 с.
5. Богомолов Г.В. Гидрогеология с основами инженерной геологии / Г.В. Богомолов. – 2-е изд. – М., 1966.
6. Бояркина, М.А. Разработка и исследование структур аэраторов, формируемых на базе мотальных паковок специального назначения : Дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / М.А. Бояркина; МГТУ им. А.Н. Косыгина. – Москва, 2009.
7. Бреслер, С.Е. Радиоактивные элементы / С.Е. Бреслер. – М. : Гостеортехиздат, 1957. – с. 96.
8. Вольф, П.А. Волокна специального назначения / П.А. Вольф, А.И. Меос. – М., 1971. – 228 с.
9. Герасимов, В.В. Водный режим атомных электростанций / В.В. Герасимов, А.И. Касперович, О.И. Мартынова. – М. : Атомиздат, 1976. – 400 с.
10. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов / А.И. Рыбальченко. – М. : ИздАТ, 1994.
11. Гордеев В.А. О бобинах сотовой намотки сформированных на машине «Бандомат» / В.А. Гордеев, В.П. Зайцев, И.Н. Панин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – №3. – 1985. – С. 40.
12. Гордеев, В.А. О замкнутых и сомкнутых крестовых намотках / В.А.

- Гордеев, В.П. Зайцев, И.Н. Панин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – №2. – 1987. – С.117.
13. Гордеев, В.А. Ткачество : Учебник для вузов / В.А. Гордеев, П.В. Волков. – М. : Легкая индустрия, 1970. – 584 с.
 14. Гурвич, С.М. Водоподготовка / С.М. Гурвич. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1961. – с. 240.
 15. Двухступенчатый аэрозольный фильтр для АЭС / В.П. Мельников, П.Н. Мартынов, И.В. Ягодкин, А.К. Паповянец // Сб. IV Международная конференция «Воздух 2004». – СПб., 2004.
 16. Егоров, Е. В. Ионный обмен в радиохимии / Е.В. Егоров, С.Б. Макарова. – М. : Атомиздат, 1971.
 17. Жужиков, В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий / В.А. Жужиков. – М. : Химия, 1971.
 18. Карелин, Я.А. Очистка производственных сточных вод в аэротенках / Я.А. Карелин, Д.Д. Жуков, В.Н. Журов. –М. : Стройиздат, 1973. – С. 223.
 19. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М. : Химия, 1971. – 324 с.
 20. Качество и безопасность при обращении с радиоактивными отходами: Учебное пособие / Б.Б. Батуров [и др.] . – М. : ГОУ «МИПК «Атомэнерго», 1999. – 336 с.
 21. Коломиец, А.Я. Исследование структуры намотки трубчатых текстильных фильтров : Дис. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / А.Я. Коломиец; ИТАП им. С.М. Кирова. – Л., 1975.
 22. Копылов, А.С. Спецводоочистка на атомных электростанциях : учебное пособие / А.С. Копылов, Е.И. Верховский – М. : Высшая школа, 1988. – 208 с.
 23. Косцов, А.А. Машины крутильно-ниточного производства / А.А. Косцов. – М., 1981. – 272 с.
 24. Крышев, И.И. Экологические проблемы обеспечения безопасности при

- обращении с радиоактивными отходами / И.И. Крышев, Т.Г. Сазыкина // Известия Академии промышленной экологии. – № 2. – М. : Изд-во Академии промышленной экологии, 1999. – С. 43-46.
25. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев, А.И. Кобляков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 349 с.
26. Малиновская, Т.А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза / Т.А. Малиновская. – М. : Химия, 1971.
27. Маргулова, Т.Х. Водный режим тепловых электростанций / Т.Х. Маргулова. – М.-Л. : «Энергия», 1968.
28. Марк, И. Долгосрочное освоение радиоактивных отходов во Франции / И. Марк // Международная научно-техническая конференция. – Хабаровск, 1991.
29. Мельников, В.П. Расчетно-экспериментальное обоснование двухступенчатых аэрозольных фильтров применительно к вентиляционным системам ЯЭУ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.03 / В.П. Мельников ; НГТУ. – Нижний Новгород, 2004.
30. Методика выполнения измерений ЦСМ КИПиА № 36-95 «Радиационное определение объемной активности бета-излучающих радионуклидов в пробах глубинных вод, душевых вод промплощадки, и жидких радиоактивных отходов». Утверждена гл. инженером НИИАР 05.06.1995.
31. Морозов, Т.Н. К вопросу контроля проницаемости мотальных паковок, подлежащих техническим и химическим обработкам / Т.Н. Морозов, В.А. Барабашкин // Технология текстильной промышленности. – 1977. – № 4.
32. Научное обоснование и практика захоронения радиоактивных жидких отходов в глубокие геологические формации / В.И. Спицын [и др.] – In : Proc.4 Intern. Conf., Peaceful uses of Atomik Energy, Geneva, 1971 UN; Vienna : IAEA, 1972. – P. 369.

33. Никифоров, А.С. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов / А. С. Никифоров, В. В. Куличенко, М. И. Жихарев. – М. : Энергоатомиздат, 1985.
34. Николаев, С.Д. О тонкости очистки фильтрата и производительности трубчатых текстильных фильтров / С.Д. Николаев, В.П. Зайцев, И.Н. Панин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – № 5 – 2005.
35. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), СП 2.6.1. 758-99. – М. : Изд-во Минздрава России, 1999.
36. Обработка воды на электростанциях / В.А. Голубцова; под. ред. чл-корр. АН СССР В.А. Голубцова. – М. : Издательство «Энергия», 1966. –С. 448.
37. Опыт эксплуатации АЭС России и текущие задачи / А.А. Абагаян [и др.] // Атомная энергия. – 1993. – Т. 74. – вып. 4. – С. 271-276.
38. Павловский, Н.И. О фильтрации воды через земляные пластины / Н.И. Павловский. – М., 1931.
39. Пайметов, А.Н. Исследование процесса сматывания полипропиленовых пленочных нитей с цилиндрических бобин / А.Н. Пайметов, А.И. Панин // Развитие и перспективы ВУЗовской науки и образования в современных условиях : сборник научных статей по итогам Научной конференции ППС ДИТИ НИЯУ МИФИ. – Димитровград, 2012. – С. 182-186.
40. Пайметов, А.Н. Место текстильных паковок специального назначения в решении экологических задач / М.И. Панин, А.А. Калмыков // Теоретические и практические аспекты развития современной науки и образования : сборник научных статей. – Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2011. – С. 118 – 122.
41. Пайметов, А.Н. Методика выбора структур текстильных фильтровальных перегородок с помощью констант фильтрации / А.Н. Пайметов [и др.] // Инновации и инвестиции : научно-аналитический журнал. – 2014. – №9. – С. 173-146.
42. Пайметов, А.Н. О перспективах совершенствования пористых

- перегородок воздушных фильтров и нитей, применяемых для этих целей / А.Н. Пайметов [и др.] // Вестник ДИТИ : научный журнал. – 2013. – № 2 (2). – С. 50-53.
43. Пайметов, А.Н. О структуре осадка и тонкости очистки воздуха трубчатыми текстильными фильтрами / А.Н. Пайметов [и др.] // Технология текстильной промышленности : научно-технический журнал. – 2012. - № 3 (339). – С. 148-151.
44. Пайметов, А.Н. Очистка сточных вод с помощью диатомита и трубчатых текстильных фильтров / А.Н. Пайметов [и др.] // Экология производства. – 2012. – № 1. – С. 54-58.
45. Пайметов, А.Н. Эффективность трубчатых текстильных фильтров / А.Н. Пайметов [и др.] // Экология производства. – 2012. – №3. – С. 64.
46. Панин, И.Н. Новая технология обезжелезивания воды / И.Н. Панин, П.С. Рыбаков // Сила технологий 2003 : Доклады Всероссийской научно-технической конференции, г. Димитровград, 24-25 апреля 2003 г. – Димитровград, 2003. –С. 1-109.
47. Панин, И.Н. О бобинах спиралевидной структуры намотки / И.Н. Панин // Известия Вузов. Технология текстильной промышленности. – № 4. – 1993.
48. Панин, И.Н. Совершенствование процесса формирования, структуры и процесса сматывания мотальных паковок сомкнутой намотки : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Иван Николаевич Панин ; ЛИТЛП им. С.М. Кирова. – Л., 1983. – 196 с.
49. Панин, И.Н. Разработка и исследование структур текстильных паковок специального назначения : дис. ... д-р. техн. наук : 05.19.02 / Иван Николаевич Панин ; МГТУ им. А.Н.Косыгина. – М., 1996. – 310 с.
50. Пери, Дж. Справочник инженера-химика. / Дж. Пери ; пер. с англ. под ред. акад. Жаворонкова Н. М. и чл.-корр. АН СССР Романкова П. Г. – Л. : Химия. – Т. 2, 1969.
51. Петерс, Р.Х. Текстильная химия / Р.Х. Петерс. – М., 1973.

52. Пискарев, Н.В. Фильтровальные ткани, изготовление и применение / Н.В. Пискарев. – М., 1963.
53. Полубаринова-Кочина, П.Я. Теория движения грунтовых вод / П.Я. Полубаринова-Кочина. – М., 1952.
54. Прошков А.Ф. Механизмы раскладки нити / А.Ф. Прошков. – М. : Легпромиздат, 1986. – С. 248.
55. Разработка УФК для вентсистем АЭС с ВВЭР нового поколения / И.В. Ягодкин [и др.] // 3-я Научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР» . – Подольск, 2003.
56. Разумовский Э.С. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов / Э.С. Разумовский, Г.Л. Медриш, В.А. Казарян. – М. : Строиздат, 1978. – С. 152.
57. Регенерация и локализация радиоактивных отходов ядерного топливного цикла / Н.Н. Егоров [и др.] // Атомная энергия. – 1993. – Т. 74. – Вып. 4. – С. 307-312.
58. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85) СанПиН 42-129-11-3938-85. – М., 1986.
59. Сивинцев, Ю.В. Радиационная безопасность на ядерных реакторах / Ю.В. Сивинцев. – М. : Атомиздат, 1967.
60. Соловьев, А.Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А.Н. Соловьев, С.М. Кирюхин. – М., Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 215 с.
61. Спицын, В.И. и др. Основные предпосылки и практика использования глубоких водоносных горизонтов для захоронения жидких радиоактивных отходов / В.И. Спицын [и др.]. – In : Proc. Intern. Conf. Nuclear Power and its Fuel Cycle. Zalzburg. – Vienna : IAEA, 1977. – P. 481.
62. Способ намотки нитевидного материала : а.с. 1454773 Рос. Федерация : МПК / В.П. Зайцев, И.Н. Панин ; заявитель и патентообладатель УЛГТУ.
63. Старик, И.Е. Осаждение растворов / И.Е. Старик, Н.Г. Розовская //

Неорганическая химия. – 1956. – №1. – С. 598.

64. СТП 086-282-2000. Теплоноситель водных реакторных установок ГНЦ РФ НИИАР. Методика количественного химического анализа содержания общего железа в пробе фотометрическим методом с применением сульфосалициловой кислоты.
65. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер; Пер. с английского Л.Г. Корнейчука; Под ред. Э.И. Григолюка. – М. : Машиностроение, 1985. – 472 с.
66. Хоникевич А.А. Очистка радиоактивно-загрязненных вод лабораторией и исследовательских ядерных реакторов / А.А. Хоникевич. – изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Атомиздат, 1974. – с. 312.
67. Чечеткин, Ю.В. Обращение с радиоактивными отходами / Ю.В. Чечеткин, А.Ф. Грачев. – Самара : Самар. Дом печати, 2000. – 248 с.
68. Шехтман, Ю.М. Фильтрация малоконцентрированных суспензий / Ю.М. Шехтман. – М. : Изд. Академии наук. СССР, 1961.
69. Шигапов, И.И. Разработка и исследование процесса формирования структур намоток пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров : Дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / И.И. Шигапов; МГТУ им. А.Н. Косыгина. – Москва, 2005.
70. Шигапов, И.И. Формирование пористых перегородок трубчатых текстильных фильтров / И.И. Шигапов, В.П. Зайцев // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск 2003). Сборник материалов межвузовской научно - технической конференций аспирантов и студентов. – Ч. 1. – Иваново : ИГТА, 2004.
71. Щербаков В.П. Прикладная механика нити: Учебное пособие / В.П. Щербаков. – М. : РИО МГТУ им А.Н.Косыгина, 2001. – 301 с.
72. GOOR G. Опыт по разрушению коротких труб / G. GOOR. – Phil, Mag. – 1914.
73. Lord, E. Air flow the rough plops of textile fibers / E. Lord. – J. Of the textile Institute. – 1965. – V. 191.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «КОВРОТЕКС» Димитровградский филиал

РОССИЯ
433513, г. Димитровград,
Ульяновская область,
улица Свирская, 1/2
Телефон (84235) 5-10-27
факс (84235) 2-92-71

на _____ от _____
№ 37/01

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО «Ковротекс»
А.Н. Маслов
«23» _____ 2014г.



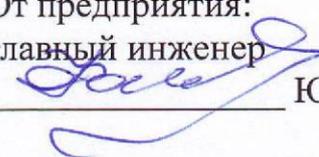
АКТ О ВНЕДРЕНИИ НИР

Мы, нижеподписавшиеся представители ООО «Ковротекс» г. Димитровград Ульяновской области с одной стороны и представитель ДИТИ НИЯУ МИФИ в лице Пайметова Андрея Николаевича с другой стороны, составили акт о внедрении результатов законченной научно-исследовательской работы: «Разработка и внедрение в производство мотальных паковок специального назначения для формирования текстильных фильтров».

В результате внедрения НИР выполнена установка для формирования бобин и трубчатых текстильных фильтров специального назначения, позволяющая создавать сомкнутую структуру намотки нитей на паковке и используемых на объектах ядерной энергетики.

Данное оборудование принято к промышленному использованию в приготовительно-ткацком производстве предприятия.

В результате внедрения НИР в производство за 2014 год на предприятии получен фактический экономический эффект в размере 1 269 094 руб. 00 коп. за счет сокращения объема отходов пряжи из натуральных и химических волокон на изготовление трубчатых текстильных картриджей, используемых при доочистке сточных вод.

От предприятия:
главный инженер

Ю.В. Фатдахов

От ДИТИ НИЯУ МИФИ:
аспирант

А.Н. Пайметов

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Расчет оптимальных параметров технологического процесса изготовления многослойных фильтровальных нетканых материалов

Разработка и освоение новых фильтровальных материалов, а также проведение комплекса лабораторных и эксплуатационных испытаний являются актуальной проблемой, решение которой требует конкретного и дифференцированного подхода в выборе способов производства, исходного сырья применительно к условиям их эксплуатации и имеющегося оборудования на каждом производстве и предприятии.

Практически не ограничены возможности сочетаний способов производства, термообработки и исходного сырья (волокнистого и нетекстильного), что позволяет получать нетканые фильтровальные материалы с широким диапазоном эксплуатационных свойств и характеристик применительно к условиям эксплуатации различного потребителя.

С целью получения фильтровального материала с оптимальными физико-механическими и функциональными свойствами в ходе работы в широком диапазоне варьировали основные параметры технологического процесса: плотность прокалывания, поверхностную плотность холста и температуру термообработки.

Для сокращения объема экспериментальных исследований и получения пригодных для последующего анализа математических моделей работу выполняли с использованием плана Бокса. Интервалы и уровни варьирования факторов представлены в таблице 1.

В качестве критериев оптимизации использовали следующие показатели готовых полотен:

- разрывная нагрузка, Н;
- относительное удлинение при разрыве, %
- жесткость, сН;

– воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Таблица 1

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
	-1	0	+1	
X_1 - плотность прокалывания холста, см^{-2}	200	240	280	40
X_2 - поверхностная плотность холста, $\text{г}/\text{м}^{-2}$	400	450	500	50
X_3 - температура термообработки холста, $^{\circ}\text{C}$	260	280	300	20

Рабочая матрица эксперимента приведена в таблице 2.

Таблица 2

Рабочая матрица эксперимента

№ опыта	X_1	X_2	X_3
1	280	500	300
2	200	500	300
3	280	400	300
4	200	400	300
5	280	500	260
6	200	500	260
7	280	400	260
8	200	400	260
9	280	500	280
10	200	450	280
11	240	500	280
12	240	400	280
13	240	450	300
14	240	450	300

В таблице 3 представлены результаты эксперимента.

В результате обработки экспериментальных данных были получены следующие уравнения регрессии:

– для относительного удлинения при разрыве в продольном направлении

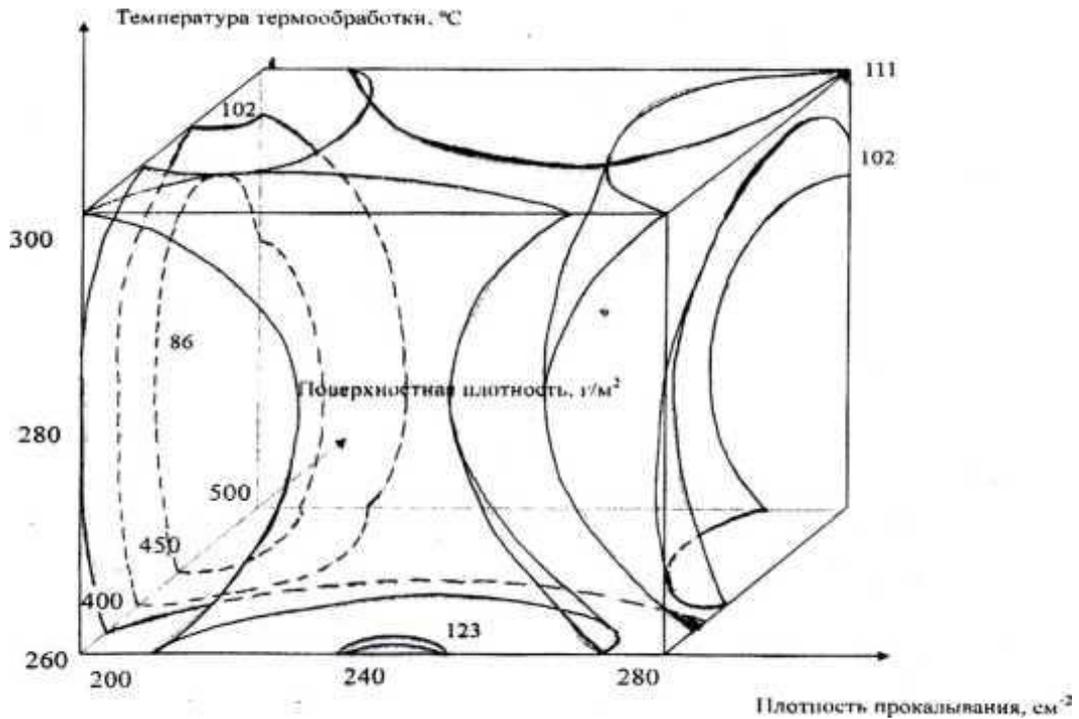
$$Y = 22,29 + 1,94X_1 - 1,16X_3 + 1,21X_1X_2 - 1,67X_2X_3 - 7,41X_1^2$$

- для разрывной нагрузки в продольном направлении $Y=72,19+0,07X_1-5,83X_2+2,57X_3+3,29X_1X_2-0,88X_1X_3+2,79X_2X_3-9,69X_1^2+5,48X_2^2+5,15X_3^2$
- для воздухопроницаемости $Y=380,15+3,18X_1-2,20X_2-2,63X_3-0,74X_1X_2+0,74X_1X_3+2,44X_2X_3-2,59X_1^2-1,54X_2^2-2,81X_3^2$
- для жесткости $Y=9,31+0,9X_1+0,3X_2-0,5X_3+6,88X_1X_2-0,88X_1X_3+0,13X_2X_3-1,69X_1^2+0,69X_2^2-1,31X_3^2$

Таблица 3

№ п/п	Разрывная нагрузка в продольном направлении, Н	Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Относительное удлинение при разрыве в продольном направлении, %	Жесткость в продольном направлении, сН
1	100,0	410	20,06	12
2	109,7	332	26,16	9
3	108,0	389	6,27	9
4	111,7	315	16,75	9
5	97,3	307	17,20	15
6	84,3	283	17,20	8
7	97,3	396	27,76	12
8	116,7	318	16,34	9
9	102,7	385	9,75	9
10	82,3	373	13,47	13
11	99,7	339	7,74	9
12	115,7	438	11,75	11
13	103,3	417	12,61	8
14	111,3	339	14,91	8

По полученным уравнениям регрессии построены соответствующие графические зависимости физико-механических и функциональных свойств нетканых материалов от технологических параметров их получения (рисунок 1.1 – 1.3).



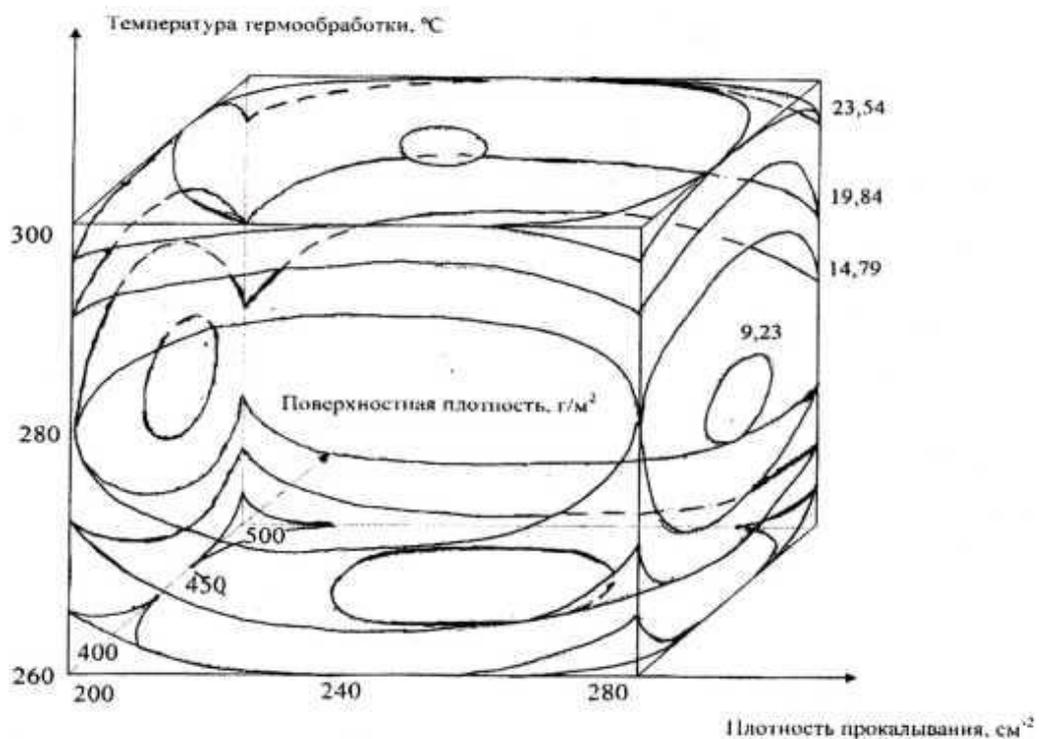
$$Y=72,19+0,07X_1-5,83X_2+2,57X_3+3,29X_1X_2-0,88X_1X_3+2,79X_2X_3-9,69X_1^2+5,48X_2^2+5,15X_3^2$$

Рисунок 1. Зависимость разрывной нагрузки в продольном направлении от поверхностной плотности, плотности прокалывания и температуры термообработки полотна.

Разрывная нагрузка нетканого материала в продольном направлении (рисунок 1) возрастает с увеличением плотности прокалывания до 240 см⁻², т.к. при увеличении числа проколов волокна в холсте в большей степени перепутываются друг с другом при более высокой плотности прокалывания, прочность начинает снижаться, причиной чему является, видимо, повышенная повреждаемость волокон. Максимальное значение разрывной нагрузки наблюдается при максимальном значении поверхностной плотности, т.е. при 500 г/м². Это вполне закономерно, т.к. увеличение поверхностной плотности означает увеличение числа волокон в поперечном сечении материала. Прочность материала практически не меняется с изменением температуры термообработки.

Относительное удлинение при разрыве нетканого материала (рисунок

2) снижается с увеличением плотности прокалывания до 280 см^{-2} , т.к. возрастает степень перепутывания волокон и, увеличивается плотность материала, что препятствует его деформации. Относительное разрывное удлинение полотна уменьшается при увеличении поверхностной плотности материала с 450 до 500 г/м^2 , т.к. с увеличением числа волокон в материале уменьшается их подвижность, что препятствует растяжению материала. С ростом температуры обработки в пределах от 260 до 280°C наблюдается снижение показателя удлинения при разрыве материала, т.к. материал становится более плотным.



$$Y=22,29+1,94X_1-1,16X_3+1,21X_1X_2-1,67X_2X_3-7,41X_1^2$$

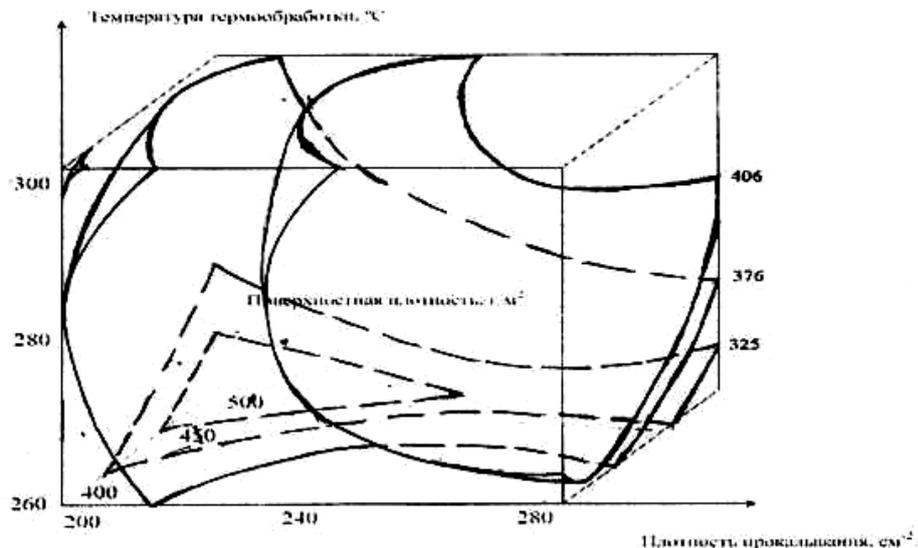
Рисунок 2. Зависимость удлинения при разрыве в продольном направлении от поверхностной плотности, плотности прокалывания и температуры термообработки полотна.

Воздухопроницаемость (рисунок 3) увеличивается при повышении плотности прокалывания материала, т.к. возрастает число следов от проколов

иглами. Воздухопроницаемость уменьшается с увеличением поверхностной плотности, т.к. материал становится плотнее, что увеличивает сопротивление проходящего через материал воздуха. Температура существенного влияния при выбранном интервале ее значений на воздухопроницаемость практически не оказывает.

На основании экспериментальных данных определены оптимальные технологические параметры получения нетканых материалов:

- плотность прокалывания 240 см^{-2}
- поверхностная плотность $450 - 480 \text{ г/м}^2$
- температура обработки $280 - 300^\circ\text{C}$



$$Y = 380,15 + 3,18X_1 - 2,20X_2 - 2,63X_3 - 0,74X_1X_2 + 0,74X_1X_3 + 2,44X_2X_3 - 2,59X_1^2 - 1,54X_2^2 - 2,81X_3^2$$

Рисунок 3. Зависимость воздухопроницаемости от поверхностной плотности, плотности прокалывания и температуры термообработки полотна.

При таких условиях достигается максимальная воздухопроницаемость ($481 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) фильтровального нетканого иглопробивного материала, хорошие прочностные и деформационные характеристики (разрывная нагрузка – $101,5 \text{ даН}$, удлинение при разрыве – 16%), удовлетворяющие

предъявляемым к ним требованиям, а также сравнительно невысокая жесткость материала (9,5 сН).

Заправочные параметры работы иглопробивного агрегата АИН-1800М, обеспечивающие получение фильтровальных материалов с оптимальными характеристиками, приведены в таблице 4.

Таблица 4

Основные заправочные параметры иглопробивного агрегата АИН-1800М

Номер пробивных игл по ОСТ 27-09-262-75	45-75-224	
Проекционная плотность игл, м ⁻¹	4000	
Масса броска (с одной чесальной машины), г	160	
Число бросков в минуту, мин ⁻¹	1,43	
Частота прокалывания, мин ⁻¹	330	
Плотность прокалывания, см ⁻² (двухстороннее прокалывание)	240	
Глубина прокалывания, мм	8/8/6	
Вид волокнистого сырья, %:		
полиэфирное волокно 0,33 текс, длина 65-75 мм	80	
полиэфирное волокно 0,84 текс, длина 65-75 мм	20	
Расход волокна на 1000 погонных метров суровья, кг	с отходами	731
	без отходов	658
Выход сурового полотна из смеси, %	90	
Вид каркасного полотна	Ткань КПТ-5	
Ширина сурового полотна, см	170	
Ширина каркасного полотна, см	170	
Поверхностная плотность каркасного полотна, г/м ²	110	
Уработка каркасного полотна, %	15	
Производительность агрегата, м/ч	Теоретическая	45,6
	Фактическая	41,0
Термообработка сурового иглопробивного полотна		
Давление в жале валов, МПа	60	
Режим термообработки	температура, °С	300
	скорость выпуска, м/мин	10
Поверхностная плотность готового полотна, г/м ²	481	
Усадка в процессе термообработки по площади, %	15	
Расход сурового полотна на 1000 пог. м готового полотна	1150	