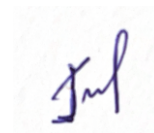


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Гильфанова Светлана Владимировна

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРЕТНОГО ЭФФЕКТА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
СВОЙСТВА ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ И
ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ОСНОВАХ**

4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки
древесины

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и
композитов

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Галиханов М.Ф.

Казань – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
I АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 Целлюлозно-бумажные фильтровальные материалы.....	11
1.1.1 Сырьевые материалы для изготовления бумажных фильтров.....	13
1.1.2 Способы производства целлюлозно-бумажных фильтров.....	14
1.1.3 Процесс фильтрования.....	16
1.1.4 Классификация и свойства фильтров.....	19
1.1.5 Фильтрующие перегородки.....	21
1.1.6 Мембранные фильтры.....	23
1.1.7 Способы улучшения свойств фильтровальной бумаги.....	25
1.2 Нетканые материалы и их свойства.....	29
1.2.1 Сырьевые материалы для изготовления полимерных нетканых материалов.....	31
1.2.2 Способы производства нетканых материалов.....	34
1.2.3 Виды полимерных нетканых материалов и способы их получения.....	36
1.2.4 Сфера применения полимерных нетканых материалов.....	38
1.2.5 Способы улучшения свойств полимерных нетканых фильтров.....	40
1.3 Определение электрета. Виды электретов и способы их получения.....	44
1.3.1 Практическое применение электретов.....	46
1.3.2 Электретный эффект в фильтрах.....	47
II ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	51
2.1 Объекты исследования.....	51
2.2 Подготовка образцов.....	52
2.3 Действие коронного заряда на фильтры на бумажной и полипропиленовой основах.....	52
2.4 Методы исследования.....	53
2.4.1 Измерение электретных характеристик ЦБ и ПП образцов.....	53
2.4.2 Оптическая микроскопия для анализа поверхности.....	54
2.4.3 Метод определения состава по волокну целлюлозных фильтровальных материалов.....	54

2.4.4 Фильтрующая способность материалов на ЦБ и ПП основах.....	55
2.4.5 Фильтрующая способность материалов на ЦБ и ПП основах (под давлением).....	56
2.4.6 Разделительная способность материалов на ЦБ и ПП основах.....	57
2.4.7 Определение чистоты фильтрата с помощью визуальной оценки.....	57
2.4.8 Определение чистоты фильтрата по показателю ХПК.....	58
2.4.9 Поверхностная впитываемость ЦБМ капельным способом.....	58
2.4.10 Сопротивления раздиранию ЦБМ (метод Эльмендорфа).....	59
2.4.11 Комплексные испытания на разрыв ЦБМ.....	61
2.4.12 Сопротивление продавливанию ЦБМ.....	61
2.4.13 Краевой угол смачиваемости ЦБМ.....	62
2.4.14 Воздухопроницаемость, шероховатость и пористость.....	63
2.4.15 Исследование дзета-потенциала ЦБМ.....	64
2.4.16 Определение чувствительности микроорганизмов к испытуемым полимерным нетканым материалам.....	65
2.4.17 Проницаемость аэрозолей через полимерные нетканые материалы...	66
III ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	67
3.1 Практическое применение фильтровальных материалов.....	87
3.1.1 Фильтрующая способность обеззоленных фильтров водно-нефтяной эмульсии.....	87
3.1.2. Разделительная и фильтрующая способность нетканых полипропиленовых материалов различных газовых сред.....	89
3.1.3 Микробиологические исследования полипропиленовых нетканых материалов.....	90
IV ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ И ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ОСНОВАХ, ОБРАБОТАННЫХ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ.....	94
4.1 Технологическая схема производства фильтровальной бумаги, обработанной в коронном разряде.....	94
4.2 Технология производства полимерных нетканых фильтровальных материалов, обработанных в коронном разряде.....	95
4.3 Техничко-экономическое обоснование опытно-промышленной установки.....	96
4.4 Пример использования целлюлозно-бумажных и полимерных нетканых	

фильтровальных материалов, обработанных в коронном разряде	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Акт опытно-промышленных испытаний фильтрующих материалов.....	124

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Процесс фильтрации является неотъемлемым элементом технологий многих отраслей, таких как медицина, пищевая промышленность, машиностроение, химическая промышленность и др. Например, решение задачи повышения качества парфюмерных жидкостей невозможно без совершенствования процессов фильтрации, так как напрямую зависит от модернизации существующих методов и внедрения новых технологий очистки.

В процессе фильтрации жидкостей и газов применяются разнообразные материалы – от фильтровальной бумаги до сложных гетерогенных систем.

Для создания фильтрующих элементов также используются электретенные материалы, то есть материалы с постоянным электростатическим зарядом для захвата частиц. Эти фильтры изготовлены из полимерных волокон, которые подвергаются обработке, создающей длительный электростатический заряд. Электростатический эффект позволяет фильтрующему материалу притягивать и удерживать мелкие частицы (пыль, пыльца, бактерии и др.) с высокой эффективностью, не создавая значительного сопротивления воздушному потоку.

Применение электретенных фильтров широко распространено в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, респираторах, а также в различных промышленных процессах, где необходима высокоэффективная фильтрация воздушных потоков. Однако, несмотря на расширяющееся применение электретенных фильтров, остаются нерешенными вопросы, связанные с изменением свойств материалов в процессе их электретенного, а также взаимодействием с окружающими веществами и массопереносом в электрическом поле. Эти аспекты требуют дальнейших исследований.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в теорию и практику производства фильтрующих материалов на целлюлозной и полипропиленовой основах внесли ученые С.А. Пузырев, А.В. Канарский, С.Н. Иванов, А.С. Смолин, А.Г. Кравцов и др. Ведущими исследователями в области создания электретенных волокнистых фильтров являются

И.В. Петрянов, В. А. Гольдаде, Weng K., Liao X., Рычков Д.А. и др.

Целью настоящей работы является изучение влияния электретного эффекта на эксплуатационные свойства фильтрующих материалов на целлюлозной и полипропиленовой основах.

Для реализации поставленной цели решили следующие **задачи**:

1. Изучение влияния электретного эффекта на структурные и физико-механические свойства целлюлозных фильтров.
2. Изучение влияния электретного эффекта на сорбционные свойства фильтрующих материалов.
3. Изучение влияния электретного эффекта на фильтрующую и разделительную способность фильтрующих материалов.
4. Поиск возможных областей использования электретных фильтрующих материалов.

Научная новизна результатов работы. Работа содержит научно-обоснованные технологические решения, направленные на улучшение комплекса свойств фильтрующих материалов на целлюлозной и полипропиленовой основах:

1. Обнаружено, что электретирование бумажных фильтровальных материалов повышает их эффективность (разделительную способность) на 7 % за счет притягивания нейтральных частиц включений электростатическими силами заряженных волокон бумаги.
2. Установлено, что прочность целлюлозных волокон уменьшается под воздействием униполярного коронного разряда из-за протекания процессов травления поверхности волокон, о чем свидетельствует повышение их пористости. При этом прочность бумажного фильтрующего материала возрастает благодаря усилению межволоконного взаимодействия и увеличению ζ -потенциала волокон.
3. Замечен синергетический эффект повышения эффективности фильтрации при комбинированном использовании бумажных фильтровальных материалов (верхний слой) и нетканых полипропиленовых полотен (нижний слой), а также электретов на их основе.
4. Впервые показано, что полипропиленовый нетканый материал с

электретным эффектом обладает бактериостатическим действием на ряд бактерий, передающихся воздушно-капельным путем и сниженной проницаемостью для аэрозолей и масел благодаря электростатическому притяжению частиц.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость результатов исследования влияния электретного эффекта на свойства фильтрующих материалов на основе целлюлозы и полипропилена заключается в научном обосновании технических критериев, разработке технических решений получения электретных фильтрующих материалов и их применении для очистки различных фильтратов.

Получены электретные фильтрующие материалы на основе целлюлозы и полипропиленовых полотен с улучшенными разделительными показателями.

Показано, что электретный полипропиленовый материал можно использовать для изготовления высокоэффективных одноразовых медицинских масок вследствие бактериостатического эффекта для *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Haemophilus influenzae*, *Haemophilus parainfluenzae*, *Streptococcus pyogenes*, вызывающих заболевания верхних дыхательных путей человека.

Проведенные исследования показали, что фильтрующие материалы на бумажной и полипропиленовой основе, подвергшиеся обработке в поле отрицательного коронного разряда, обладают высокими эксплуатационными характеристиками и рекомендованы для использования в составе промышленных фильтров типа СНК (супернатантная капсульная кассета), предназначенных для фильтрации жидких моющих средств, что было подтверждено опытно-промышленными испытаниями на производственных мощностях АО «Нэфис косметик» (г. Казань) и задокументировано в акте испытаний (Приложение А).

Методы и методология исследования. Методологической основой исследования служили положения о структуре и свойствах целлюлозных и полипропиленовых фильтрующих материалов и о возможности повышения фильтрующей способности полимерных материалов при электретировании.

В работе применялись современные методы для изучения структурных,

физико-механических, электретенных, сорбционных и фильтрующих характеристик материалов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований по изучению влияния электретенного эффекта на фильтрующую и разделительную способность бумажных фильтров, а также на их структурные, сорбционные и физико-механические свойства.

2. Данные о влиянии электретенного эффекта на фильтрующую и разделительную способность полимерных нетканых материалов.

3. Установленное влияние чувствительности микроорганизмов к обработанным в коронном разряде образцам нетканых полимерных материалов.

Достоверность результатов исследования обеспечивается передовыми методами анализа; использованием как стандартных, так и специализированных методик для оценки характеристик фильтрующих материалов, а также соответствием научных выводов известным теоретическим и экспериментальным данным.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в формулировании ключевых положений исследования, в постановке и решении теоретических, экспериментальных и практических задач, в проведении экспериментальных исследований, целью которых было изучение характеристик фильтрующих материалов, изготовленных на основе бумаги и полипропилена.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты исследований, выносимые на защиту, относятся к п. 4 «Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлознобумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах» паспорта специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины и к п. 2 «Полимерные материалы и изделия: пластмассы, волокна, каучуки, резины, пленки, покрытия, нетканые материалы, натуральные, искусственные и синтетические кожи, клеи, компаунды, композиты, бумага, картон, целлюлозные и

прочие композиционные материалы, включая наноматериалы; свойства синтетических и природных полимеров, фазовые взаимодействия; исследования в направлении прогнозирования состав-свойства, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом; последующая обработка с целью придания специальных свойств; процессы и технологии модификации; вулканизация каучуков; сшивание пластмасс; фазовое разделение растворов; отверждение олигомеров» паспорта специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены на Всероссийской 51-й научной студенческой конференции по техническим, гуманитарным и естественным наукам (Чебоксары, 2017 г.), Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы науки о полимерах», посвященной 60-летию кафедры технологии пластических масс (Казань, 2018 г.), V Международной молодежной научной конференции, посвященной памяти почетного профессора УрФУ В. С. Кортova (Екатеринбург, 2018 г.), Четвертом междисциплинарном научном форуме с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии» (Москва, 2018 г.), VI Международной молодежной научной конференции, посвященной 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ (Екатеринбург, 2019 г.), Всероссийской молодежной научной конференции «За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества» (Курск, 2020 г.), VII Международной молодежной научной конференции, посвященной 100-летию Уральского федерального университета (Екатеринбург, 2020 г.), VIII Международной молодежной научной конференции (Екатеринбург, 2021 г.), Всероссийской научной конференции с международным участием «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире» (Казань, 2021 г.), 2-й Всероссийской научно-технической конференции «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» (Курск, 2024 г.), IV Всероссийской научной конференции с международным участием преподавателей и студентов ВУЗов «Актуальные проблемы науки о

полимерах» (Казань, 2024 г.).

Ценность научных работ соискателя и полнота изложенных в них результатов. По теме диссертации опубликованы 22 печатные работы, в том числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК, 4 статьи в изданиях, входящих в международную базу данных Scopus, 13 трудов в прочих журналах и сборниках материалов конференций различного уровня.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 124 страницах, включает 11 таблиц, 43 рисунка, список литературы содержит 175 наименований цитируемых работ.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному консультанту – канд. техн. наук Галеевой Ляйсан Рафаиловне за помощь и поддержку в работе над диссертацией.

I АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Целлюлозно-бумажные фильтровальные материалы

Фильтровальная бумага – это материал с определенным размером пор, который обеспечивает необходимую проницаемость и разделительную способность при фильтрации жидкостей и газов. Такие виды бумаги и картона обычно производятся традиционным методом формования из целлюлозных волокон или их комбинаций с синтетическими волокнами, как влажным, так и сухим способом [1].

Одним из основных требований, которые предъявляются к целлюлозно-бумажным фильтровальным материалам, является обеспечение высокой проницаемости при одновременном эффективном задержании частиц взвеси и пыли [2].

Фильтровальная бумага отличается от обычной бумаги тем, что она не проклеена, более чиста по составу и волокниста. Последнее обстоятельство и обуславливает ее фильтрующую способность [3].

По плотности бумаги, т.е. в зависимости от размеров пор, через которые просачивается жидкость, фильтры разделяют на очень плотные и менее плотные [4, 5].

Так же различают бумажные фильтры обычные и беззольные. Лабораторные зольные фильтры изготовлены с почти 100 % содержанием α -целлюлозы и содержанием золы, не превышающим 0,1 %, согласно ГОСТ 12026-76 [6]. Фильтры подразделяются на классы в зависимости от степени чистоты, плотности, скорости фильтрации и задерживающей способности, а также по диаметру самого фильтра [3-5].

Беззольные лабораторные фильтры используются для количественного анализа различных образцов и характеризуются практически полным содержанием α -целлюлозы и минимальным содержанием золы. Фильтры промываются кислотой для удаления механических и органических примесей. Они классифицируются по плотности, скорости фильтрации и задерживающей способности, а также по

диаметру. Для удобства пользователей большинство фильтров имеют цветовую маркировку, соответствующую определенным характеристикам, хотя эти метки могут различаться у разных производителей и соответствовать разным типам фильтров [3, 7].

На упаковке фильтров указывают массу золы фильтра. Если после запятой идут четыре нуля, фильтровальная бумага считается беззольной, например, при значении «масса золы одного фильтра = 0,00005 г». Такая масса не влияет на результаты взвешивания на аналитических весах. Если масса золы указана как «0,0004 г», это обычная фильтровальная бумага. Также фильтры различают по плотности бумаги, что определяется по цвету ленты на упаковке [3, 7].

В лабораторной практике фильтры из бумаги классифицируются на два вида: простые и складные [3].

Для изготовления простого фильтра берется квадратный лист фильтровальной бумаги определенного размера, который складывается вчетверо, учитывая объем осадка и размер воронки. Затем он обрезается ножницами в соответствии с инструкциями, представленными на рисунке 1.1 [3].

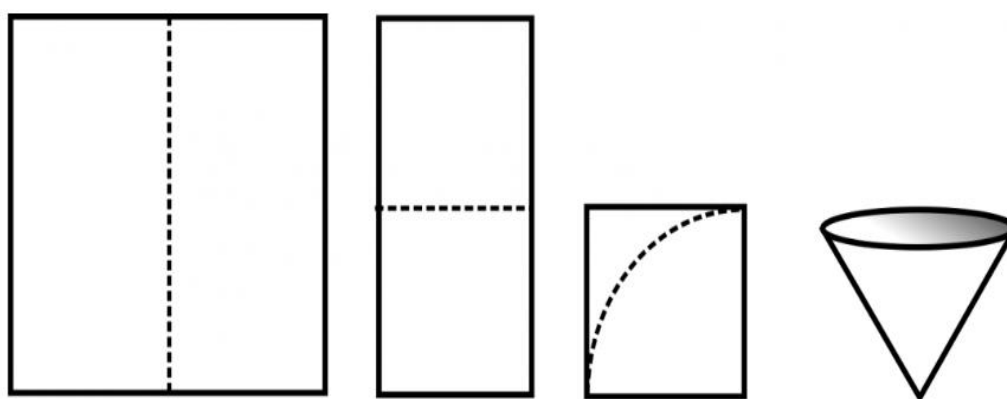


Рисунок 1.1– Порядок складывания простого фильтра

Фильтр складчатого типа (рис. 1.2) превосходит обычный фильтр тем, что процесс фильтрации с его использованием проходит быстрее, поскольку площадь фильтрации у складчатого фильтра в два раза больше, чем у простого.

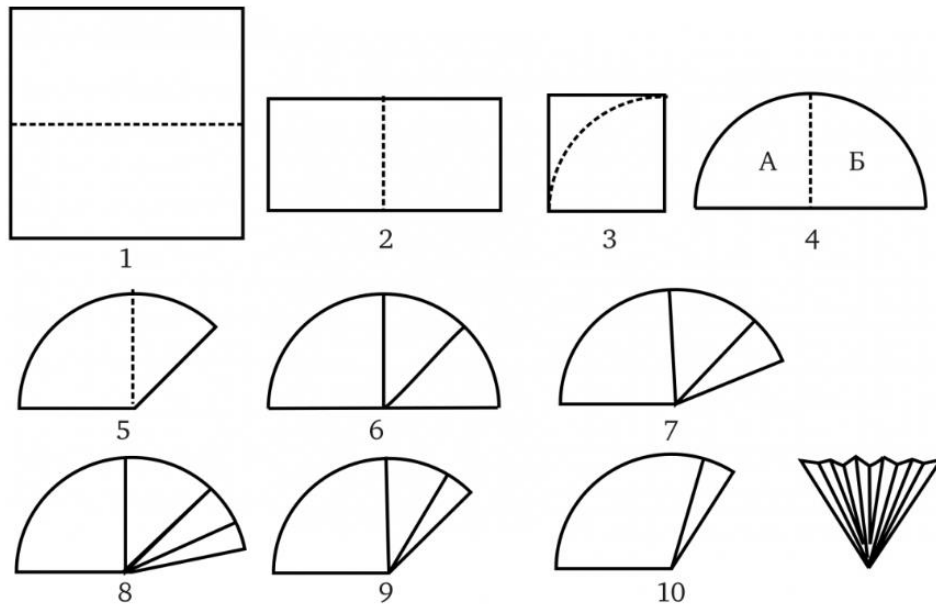


Рисунок 1.2 – Порядок складывания складчатого фильтра

Для приготовления складчатого фильтра квадратный лист фильтровальной бумаги нужного размера сначала складывается пополам, затем вчетверо, и обрезается ножницами согласно указаниям (1, 2 и 3). После этого фильтр разворачивается (4), правая четверть складывается пополам внутрь (5), верхняя восьмушка отгибается (6) и затем снова складывается пополам внутрь (7). Полученная шестнадцатая доля фильтра затем снова складывается пополам наружу. Затем весь фильтр складывается гармошкой в соответствии с размером полученной дольки, разворачивается и помещается в воронку. Важно избегать тесного прилегания складок фильтра к его центру, так как в противном случае центр фильтра обычно разрывается. Края фильтра следует обрезать, а не оставлять рваными, для снижения расхода фильтровальной бумаги [3].

1.1.1 Сырьевые материалы для изготовления бумажных фильтров

Сырьевые материалы для изготовления фильтров являются ключевым аспектом в области разработки и производства фильтровальных материалов, которые широко используются в различных отраслях, включая химическую промышленность, медицину, пищевую промышленность и др. [5, 8]. Эффективность фильтров зависит от качества используемых сырьевых материалов,

исходных свойств волокон и их сочетаний [5, 8].

Основным элементом в растительных волокнах является целлюлоза — естественный полимер с уникальными свойствами, важными для создания бумажных фильтров. Благодаря уникальным свойствам целлюлозы, которые играют важную роль в процессах бумажного производства, таких как размол, диспергирование волокон перед формированием бумажного полотна и формирование связей между волокнами в бумажном листе, возможно производить бумажные фильтры с однородной структурой и достаточной прочностью без необходимости использования специальных связующих материалов [9].

В качестве основных сырьевых материалов для производства фильтров используются разнообразные типы волокон. Например, натуральные волокна, такие как хлопок, лен и шерсть, имеют определенные свойства, которые делают их подходящими для определенных приложений. Однако современные технологии позволяют использовать целлюлозные волокна, получаемые из древесины и однолетних растений, а также неорганические материалы, такие как стекло, базальт, асбест, кварц и керамика [5, 8, 10].

Искусственные и синтетические органические волокна широко используются в производстве фильтров. Эти материалы предпочитают из-за их специфических свойств: высокая прочность, устойчивость к химическим воздействиям, возможность модификации для достижения требуемых характеристик [5, 8, 11].

Помимо выбора типа волокон, в производстве фильтров важно учитывать процессы обработки и смешивания различных материалов, чтобы получить конечный продукт с оптимальными характеристиками фильтрации [8].

Важным аспектом является также контроль качества сырьевых материалов на различных этапах производства, чтобы обеспечить надежность и эффективность фильтров в различных условиях эксплуатации.

1.1.2 Способы производства целлюлозно-бумажных фильтров

Производство целлюлозно-бумажных фильтров является весьма актуальным и важным с позиции химической науки, особенно в контексте их применения в

различных отраслях промышленности, включая фильтрацию жидкостей, очистку воздуха, производство медицинских масок и другие области.

Процесс производства бумаги состоит из двух ключевых этапов (рис. 1.3). На первом этапе происходит извлечение волокон из растительного сырья и их обработка для придания необходимых свойств, таких как гибкость и пластичность, которые являются основными характеристиками бумаги. На втором этапе волокнистые материалы превращаются в бумагу [12].

Важно отметить, что эти этапы могут различаться в зависимости от конкретного применения фильтров и требований к конечному продукту [5, 13, 14]. Производство бумаги инициируется этапом подготовки бумажной массы, который предполагает смешивание волокон в соответствии с заданной композицией, а также добавление специальных веществ для проклейки и наполнителей, оказывающих влияние на будущие свойства бумаги. После этого смесь, превращенная в суспензию с содержанием 2,5 – 3,0 % влаги, направляется в напорный ящик бумагоделательной машины, обеспечивающий равномерное распределение по всей ширине сетки с необходимой скоростью. Прошедшее через сеточный стол полотно, частично обезвоженное до 20 % сухого вещества, направляется в прессовую часть машины, где под воздействием нагрузки уровень влажности снижается до 50 %, а затем в сушильную часть, где добиваются уровня сухости в 93 – 96 % [15].

Целлюлозное волокно проходит все этапы производственного процесса машины за одну минуту, протяженность которой может составлять до 200 м в длину, 10 м в ширину при средней скорости движения 1600 м в минуту [15].

На последнем участке бумагоделательной машины находится накат, который наматывает полученную бумагу на рулоны, которые либо разрезаются на продольно-резательных станках для производства рулонной бумаги, либо нарезаются на листы на листорезе для создания форматов, которые затем упаковываются в пачки после взвешивания и складывания [15].

В целом, производство целлюлозно-бумажных фильтров требует комплексного подхода, включающего в себя не только технологические процессы,

но и научные исследования с целью постоянного совершенствования методов производства и улучшения характеристик конечного продукта [13, 14].

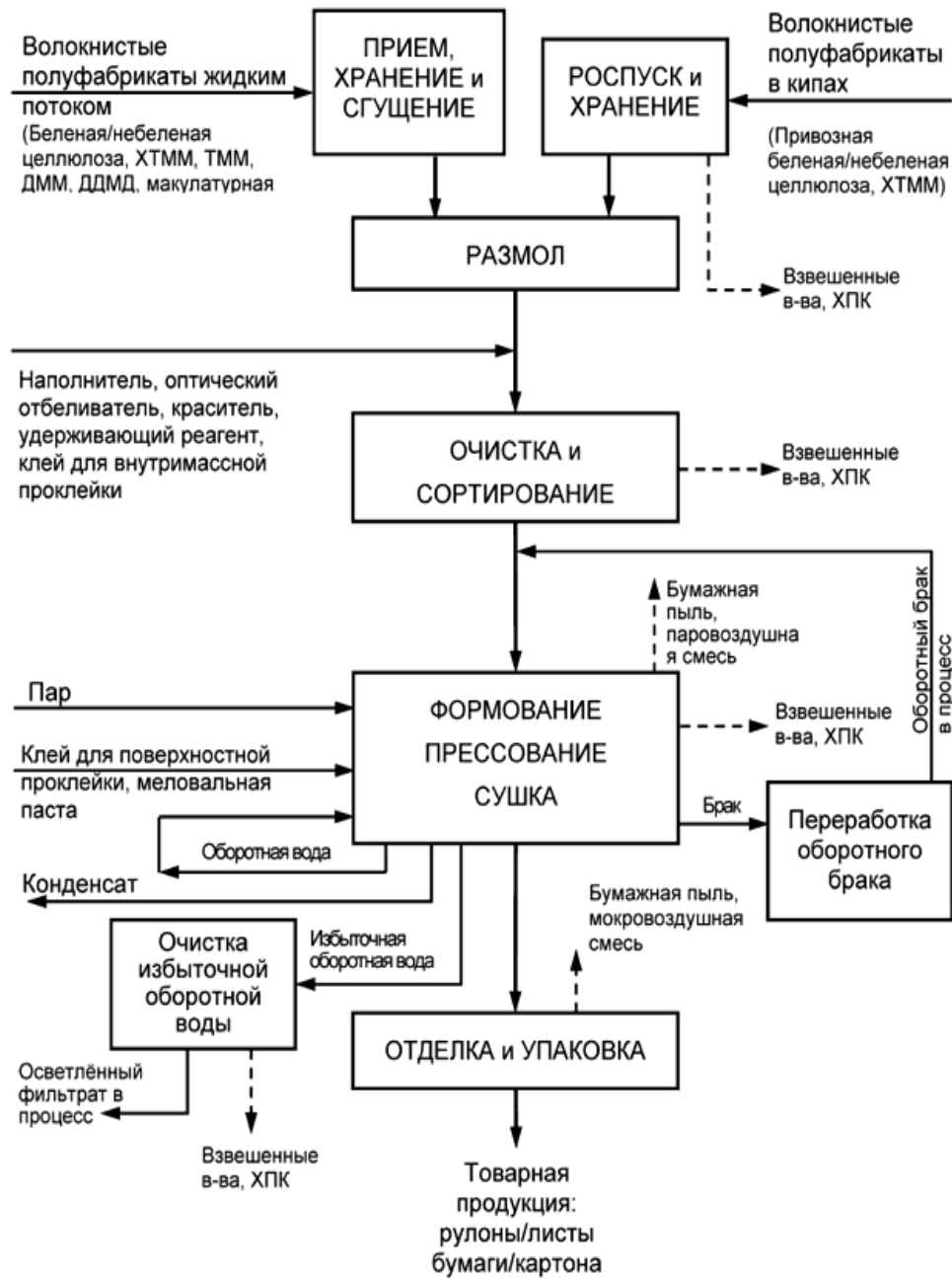


Рисунок 1.3 – Блок - схема процесса производства бумаги и картона

1.1.3 Процесс фильтрации

Фильтрация является важнейшим гидромеханическим процессом, применяемым для тонкого разделения гетерогенных систем с жидкой или

газообразной дисперсионной средой. Этот процесс основан на отделении дисперсной фазы путем прохождения смеси через пористую перегородку, которая пропускает дисперсионную среду и удерживает дисперсную фазу [16, 17].

Фильтрация находит широкое применение в различных отраслях промышленности, где требуется высокая степень очистки жидкостей или газов от взвешенных частиц. По сравнению с процессами осаждения, фильтрация позволяет добиться более полной очистки и, соответственно, более высокого выхода целевого продукта, представленного твердой фазой суспензии [17].

В зависимости от механизма задержания твердых частиц, выделяют два основных типа фильтрации: фильтрация с образованием осадка и фильтрация с закупоркой пор. При фильтрации с образованием осадка твердые частицы задерживаются на поверхности фильтровальной перегородки, формируя слой осадка. В случае фильтрации с закупоркой пор частицы проникают в глубину пористой структуры перегородки и задерживаются в ее порах. В некоторых случаях применяют комбинированный подход, совмещающий оба механизма фильтрации [16-18].

Выбор конкретного типа фильтрации зависит от свойств разделяемой системы, требований к чистоте фильтрата и производительности процесса. Для оптимизации процесса фильтрации необходимо учитывать такие параметры, как размер и форма частиц дисперсной фазы, свойства дисперсионной среды, характеристики фильтровальной перегородки и гидродинамические условия процесса [19].

На рис. 1.4 представлена схема процесса фильтрации суспензий. В простейшем варианте фильтр состоит из сосуда, разделенного на две части фильтровальной перегородкой (4). Суспензию (2) помещают в верхнюю часть, обеспечивая её контакт с перегородкой в течение всего процесса. За счет разницы давлений в частях сосуда, жидкость проходит через поры перегородки, образуя фильтрат (5), а твердые частицы оседают на её поверхности, формируя осадок (3) [16]. Данный процесс представляет собой пример фильтрации с образованием осадка, который является более предпочтительным по сравнению с фильтрацией

с закупоркой пор, поскольку последний вариант значительно затрудняет или делает невозможной регенерацию фильтровальной перегородки.

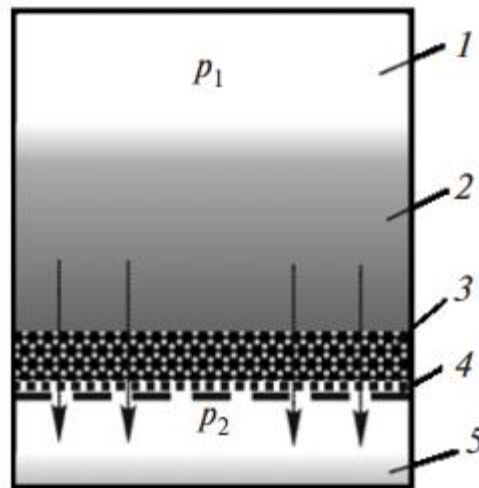


Рисунок 1.4 – Схема фильтрующей установки для разделения суспензий:

1 – корпус; 2 – суспензия; 3 – осадок; 4 – фильтровальная перегородка;
5 – фильтрат

Разность давлений, по обе стороны фильтровальной перегородки, создается различными методами, что определяет условия протекания процесса фильтрования [20].

Фильтрование происходит при постоянной разности давлений, если пространство над суспензией соединено с источником сжатого газа или под фильтровальной перегородкой создан вакуум. В этом случае скорость фильтрации уменьшается из-за увеличения толщины осадка и его гидравлического сопротивления [20].

Когда суспензия подается поршневым насосом с постоянной производительностью, фильтрование идет с постоянной скоростью, а разность давлений возрастает по мере увеличения сопротивления осадка. При подаче центробежным насосом процесс протекает при изменяющихся давлении и скорости – давление растет, а скорость падает [20].

Во время промывки фильтра жидкость проходит через осадок постоянной

толщины, обеспечивая стабильную разность давлений и скорость фильтрации [20].

Осаждение твердых частиц усложняет процесс фильтрования. Если суспензия находится над перегородкой, осаждение ускоряет образование осадка, если под перегородкой – осаждение замедляет процесс, требуя перемешивания суспензии. Осадки делятся на сжимаемые и несжимаемые в зависимости от изменения их пористости при увеличении давления. Сжимаемые осадки уменьшают пористость, что увеличивает гидравлическое сопротивление, поэтому их фильтрацию обычно проводят под вакуумом или небольшим давлением.

Часто фильтрация не ограничивается разделением суспензии на фильтрат и осадок. Перед удалением осадка его промывают другими жидкостями для удаления остатков фильтрата и продувают газами для снижения влажности [16-21].

1.1.4 Классификация и свойства фильтров

Бумажные фильтры являются одним из наиболее широко используемых средств для разделения твердых частиц и жидкостей в лабораторной практике и промышленности. Несмотря на кажущуюся простоту, бумажные фильтры обладают рядом важных свойств, которые необходимо учитывать при их выборе и применении.

Они классифицируются по различным параметрам, таким как скорость фильтрации, удерживающая способность, зольность и химическая стойкость [3, 5].

Классификация бумажных фильтров:

- По скорости фильтрации:
 - медленные (например, фильтры марки «Синяя лента»);
 - средние (например, фильтры марки «Белая лента»);
 - быстрые (например, фильтры марки «Красная лента»).
- По удерживающей способности:
 - грубые (размер пор 20-25 мкм);
 - средние (размер пор 8-12 мкм);
 - тонкие (размер пор 2-5 мкм).

- По зольности:
 - обычные (зольность до 0,1%);
 - беззольные (зольность менее 0,01%).
- По химической стойкости:
 - обычные (для работы с нейтральными и слабокислыми растворами);
 - кислотостойкие (для работы с сильными кислотами);
 - щелочестойкие (для работы с сильными щелочами) [3, 5, 8].

Свойства бумажных фильтров:

- эффективное разделение твердых частиц от жидкостей за счет высокой проницаемости и пористости;
- химическая устойчивость к различным реагентам в зависимости от типа фильтра;
- низкая зольность, особенно у беззольных фильтров, что важно для аналитических работ;
- хорошая механическая прочность, позволяющая выдерживать давление при фильтрации;
- возможность использования в широком диапазоне температур (от 0 до 100 °С для обычных фильтров).

При выборе бумажного фильтра необходимо учитывать свойства фильтруемой системы, требуемую скорость фильтрации, удерживающую способность и химическую стойкость. Правильный выбор фильтра обеспечивает эффективное и быстрое разделение компонентов смеси, что важно для получения точных результатов анализа [3, 5].

Разработанная классификация и база данных по свойствам бумажных фильтров могут служить ценным справочным материалом для специалистов [8].

Например, обеззоленный фильтр «Черная лента» – крупнопористая, мягкая бумага с рыхлой структурой и высокой скоростью фильтрации (10 секунд), удельный вес 80 г/м². Подходит для фильтрации грубых осадков и коллоидов, таких как гидроксиды металлов и сульфиды. Широко используется в аналитических работах, включая анализ кремния в сталях.

Обеззоленные фильтры «Желтая лента» и «Белая лента» имеют средний размер пор и достаточно высокую скорость фильтрации (20 секунд), удельный вес 80 г/м². Подходит для фильтрации крупнодисперсных осадков. «Желтая лента» особенно подходит для определения жира в природном сырье. «Белая лента» – для крупнодисперсных осадков, таких как сульфиды и хроматы различных металлов.

Обеззоленный фильтр «Красная лента» имеет среднюю плотность и умеренную скорость фильтрации (50 секунд), удельный вес 80 г/м². Применяется для фильтрации тонких осадков, таких как магний-аммония арсенат, магний-аммония фосфат и т.д.

Обеззоленный фильтр «Зеленая лента» имеет узкие поры и низкую скорость фильтрации – 100 секунд, удельный вес 80 г/м². Данный фильтр подходит для фильтрации тонких осадков: сульфат бария, диоксид свинца, сульфид никеля.

Фильтровальная бумага подходит для самых разнообразных методик, часто используется для осветления жидкостей. Общая толщина 180 мкм, скорость фильтрации – 150 секунд, удельный вес 88 г/м².

Обеззоленный фильтр «Синяя лента» – мелкопористый, плотный, имеет низкую скорость фильтрации (180 секунд), удельный вес 80 г/м². Используется для фильтрации мелкозернистых осадков: холодно-осажденный сульфат бария, оксид меди.

Обеззоленный фильтр «Фиолетовая лента» имеет самую низкую скорость фильтрации (250 секунд), особо мелкие поры и высокую плотность, удельный вес – 100 г/м². Подходит для особенно трудных условий фильтрации мелкозернистых осадков: сульфат бария, оксид меди и т.д.

1.1.5 Фильтрующие перегородки

Фильтрующие перегородки – это структуры, используемые для разделения пространства и фильтрации воздуха, жидкостей или других субстанций. Перегородки применяются в различных сферах, включая медицину, промышленность, лаборатории, а также в бытовых условиях для очистки воздуха

в помещениях [22].

При выборе фильтровальной перегородки нужно учитывать множество факторов:

- способность задерживать мелкие частицы и обеспечивать чистоту фильтрата;
- устойчивость к засорению и хорошую проницаемость для фильтрата;
- химическую стойкость к фильтруемым средам;
- термостойкость;
- износостойкость и механическую прочность;
- пожаробезопасность;
- доступность и экономическую целесообразность [23].

В большинстве фильтров применяют гибкие перегородки, такие как прессованное волокно или ткань [24], которые укладываются на перфорированную поверхность, либо могут быть металлической [25] или полимерной сеткой [26]. Среди наиболее распространенных материалов для таких перегородок можно назвать асбест, капрон, лавсан, стекловолокно, полиэтилен, хлорин, нитрон, цеолит [27] и бумажную ленту для одноразового использования [28]. Ткани из натуральных волокон, таких как шерсть, шелк и хлопок, применяются гораздо реже из-за их низкой химической стойкости [24].

Металлические сетки, изготавливаемые из бронзы или нержавеющей стали, также широко используются в качестве перегородок [25]. Несжимаемые пористые перегородки, такие как керамические, металлокерамические, металлические и стеклянные фильтровальные камни, позволяют проводить фильтрацию при высоких температурах и в агрессивных средах. Они производятся в виде плиток, полых цилиндров и, чаще всего, в форме патронов [29].

Таким образом, подбор оптимальной фильтровальной перегородки – комплексная инженерная задача, требующая учета состава разделяемой суспензии, требований к чистоте фильтрата, условий процесса и технико-экономических факторов. Правильный выбор перегородки и применение вспомогательных фильтрующих материалов позволяют обеспечить высокую производительность и эффективность фильтрования [30].

1.1.6 Мембранные фильтры

Мембранные целлюлозные фильтры представляют собой тип фильтров, которые используются для различных процессов фильтрации в химической промышленности, лабораториях и других областях. Они состоят из целлюлозного материала, который обладает пористой структурой и способен задерживать частицы определенного размера, в то время как жидкость или газ проходят через него. Эти фильтры могут использоваться для разделения жидкостей и частиц, удаления загрязнений, концентрирования образцов и других процессов [31].

Мембранные фильтры являются неотъемлемым средством для очистки воды от микробов, так как поровый размер мембран значительно меньше размера самих вирусов и бактерий. Сегодня мембранные фильтры все чаще применяются в бытовых условиях благодаря своей надежности, компактности, простоте использования и высокому качеству очищенной воды [32].

Мембраны – это тонкие пленки, предназначенные для избирательного пропуска растворенных веществ, основываясь на размере и других свойствах частиц. Они могут быть гомогенными, с однородной структурой, увеличивающейся в толщину до 100 раз, и асимметричными. Гомогенные мембраны используются в таких процессах, как микрофильтрация и гемодиализ [31, 32].

Мембраны не только уменьшают количество нежелательных растворенных веществ, но и ограничивают поток растворителя. Чтобы снизить сопротивление потоку, разрабатываются мембраны с асимметричной структурой из двух слоев.

Тонкий селективный слой минимизирует сопротивление фильтрации, а пористый поддерживающий слой обеспечивает прочность конструкции. Эти слои могут быть сделаны из одного материала, как в ацетате целлюлозы, или из разных, как в композитных мембранах. Мембранные фильтры для очистки воды могут быть выполнены в виде плоских листов или полых волокон [31, 33].

Разновидности мембранных целлюлозных фильтров:

Нитрат целлюлозы. Мембранные фильтры из нитрата целлюлозы (рис 1.5)

широко используются в различных областях лабораторной практики, где требуются мембраны с высокой способностью к адсорбции. Они обладают гидрофильными свойствами, обеспечивают высокие скорости потока благодаря своей симметричной структуре и могут использоваться с водными растворами (рН 4 – 8), углеводородами и некоторыми другими органическими растворителями. Мембранные фильтры из нитрата целлюлозы доступны с различными размерами пор, начиная от 0,2 мкм и до 8 мкм [34, 35].

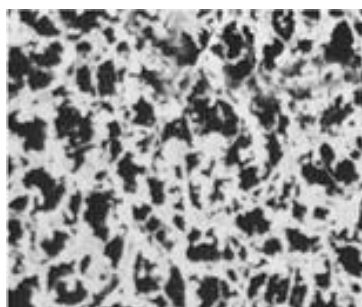


Рисунок 1.5 – Мембранные фильтры из нитрата целлюлозы

Мембранные фильтры из *ацетата целлюлозы* (рис. 1.6) обладают высокой скоростью потока и термической стабильностью при одновременно очень низких адсорбционных свойствах, что позволяет их применять в устройствах напорной фильтрации.

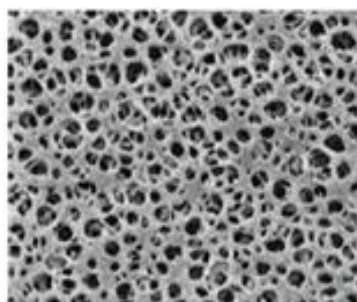


Рисунок 1.6 – Мембранные фильтры из ацетата целлюлозы

Они обладают гидрофильными свойствами, обеспечивают высокие скорости потока благодаря своей симметричной структуре и могут использоваться с водными растворами (рН 4 – 8), маслами, спиртами и другими органическими

растворителями. Мембранные фильтры с поровым размером 0,2 мкм предпочтительны для стерильной фильтрации водных растворов, таких как питательные среды, буферные растворы и сыворотки. Вариации мембранных фильтров из ацетата целлюлозы доступны с размерами пор от 0,2 мкм до 5 мкм [35, 36].

Регенерированная целлюлоза. Мембраны с очень низкой адсорбцией являются гидрофильными, устойчивыми к растворителям (рН 3 – 12) и потому подходят для удаления частиц из растворителей (рис. 1.7). Мембрана асимметрична и усилена нетканой целлюлозой. Выпускаются с двумя размерами пор: 0,45 мкм и 0,2 мкм [35].

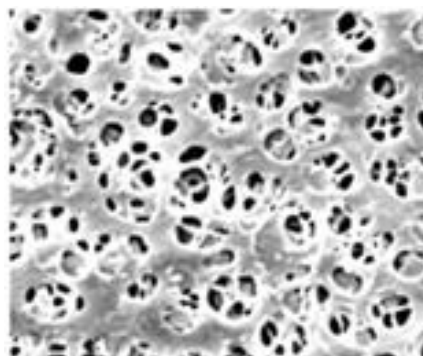


Рисунок 1.7 – Регенерированная целлюлоза

1.1.7 Способы улучшения свойств фильтровальной бумаги

Основной задачей бумажных фильтров является очистка различных жидкостей от примесей, но не всегда качество фильтрата после прохождения через фильтрующие установки удовлетворяет ожидания изготовителей.

В последнее время наблюдается значительный рост интереса к новому поколению фильтровальных материалов. Экологические и экономические проблемы обуславливают необходимость в разработке технологий производства фильтровальных материалов, обладающих высоким качеством и приемлемой стоимостью.

Авторами [37, 38] было исследовано, что добавление наночастиц в

фильтровальные материалы может значительно улучшить их производительность. Например, добавление наночастиц серебра может улучшить антимикробные свойства бумаги. Эти исследования также подтверждаются авторами патента [39], чье изобретение предназначено для изготовления бумаги, обладающей высокой антибактериальной и фунгицидной активностью и может найти применение в целлюлозно-бумажной, пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности при производстве ценных бумаг, печатной бумаги, фильтровальной бумаги, бумаги санитарно-гигиенического назначения, упаковочных материалов.

Значительный вклад в теорию и практику производства фильтровальных видов бумаги и картона внесли отечественные ученые. В работах докторов наук Пузырева С.А., Канарского А.В. и Иванова С.Н. [2, 5, 14] уделено основное внимание выбору волокнистых полуфабрикатов и способу их обработки для улучшения свойств фильтров. Их работы заключались в разработке технологии фильтрующего материала с повышенной механической прочностью из минеральных волокон (стеклянных и базальтовых) для высокоэффективной очистки воздуха и жидкостей.

При проведении исследований под руководством Канарского А.В. изучались свойства материалов, создаваемых из растительных волокон с добавлением стеклянных волокон для фильтрации медико-биологических жидкостей. Максимальное содержание стеклянных волокон составляло 70 % относительно хлопковой целлюлозы. Разработанная технология включала следующие шаги: рубка стеклянных волокон до определенной длины в нейтральной среде, подогрев массы до температуры 40 – 50 °С, добавление ливинилацетатной дисперсии с последующим перемешиванием, измельчение хлопковой целлюлозы до степени помола 25 – 30 °ШР, смешивание полуфабрикатов из волокон, очистка смеси от нефиброзных включений, разбавление водой, формование картона, его прессование, сушка и резка на рулоны [5, 40].

В работе [41] Канарский А.В. исследовал влияние размола и мерсеризации целлюлозы на физико-механические и фильтрующие свойства картона из

стеклянных волокон. Исследования выявили, что при увеличении начальной степени помола целлюлозы повышается степень помола мерсеризованной целлюлозы и, следовательно, ее способность образовывать бумагу. Предварительный помол и последующая мерсеризация целлюлозы незначительно увеличивают сопротивление стекловолоконного картона аэрогидродинамическим факторам и не оказывают особого влияния на его рабочий ресурс, однако значительно повышают механическую прочность материала (более чем в 4 раза), а также увеличивают его способность задерживать вещества.

В другом своем исследовании Канарский А.В. рассматривал, как процессы фракционирования и сухого распуска целлюлозы влияют на различные свойства бумаги и картона, включая их физико-механические характеристики и способность к фильтрации. По данным, представленным в работе, изготовление фильтровального картона из фракций целлюлозы с весовым показателем длины волокна 200 и 150 дг позволяет улучшить его ресурсные характеристики и способность к фильтрации. У этих образцов картона наблюдается увеличение размеров пор и их эффективности, что приводит к увеличению скорости фильтрования воды по сравнению с образцами, изготовленными из исходной целлюлозы. Кроме того, максимальный размер пор в образцах из фракционированной целлюлозы оказывается меньше, что ведет к повышению герметичности и, следовательно, способности к задерживанию веществ по сравнению с образцами картона из исходной целлюлозы [42].

Иванов С.Н. в своей книге [43] пишет о важности критической длины волокон, используемых в производстве бумаги разного назначения. Основными факторами, влияющими на прочность бумаги, являются следующие: силы связи между волокнами, которые зависят от площади контакта и концентрации связей на единице площади, длина и прочность волокон, их гибкость и эластичность, ориентация и распределение волокон в бумаге, то есть ее однородность.

Под руководством Пузырева С.А. были проведены исследования по разработке новых типов фильтрующих материалов с использованием в качестве связующего волокон ПВС. При добавлении небольшого количества ПВС в

бумажную массу произошло значительное увеличение прочности материала без увеличения гидродинамического сопротивления, при этом снизилась его способность впитывать влагу [17].

Изучение и оптимизация структуры фильтровальной бумаги, включая ее пористость и микроструктуру, может улучшить производительность фильтра. Так в исследованиях Смолина А.С. и др. [44, 45] проводилось сравнение эффектов от пенного способа формования и добавления мерсеризованной целлюлозы на качество фильтровальных материалов. Авторами было обнаружено, что при добавлении поверхностно-активного вещества Triton BG-10 Surfactant в концентрации 4 мг/л фильтрующие и механические характеристики бумажного фильтра сравнимы с фильтром, содержащим 20 % мерсеризованной целлюлозы [44]. А использование пенного метода для формования бумаги на основе минеральных волокон представляет собой перспективную альтернативу. Повышение равномерности макроструктуры благодаря этому методу приводит к улучшению прочностных характеристик стекловолоконной бумаги [45].

Экспериментальные исследования авторов Дубрового В.К. и др. [46] подтвердили высокую эффективность стеклянных волокон в фильтрации воды от растворенных загрязнений, обусловленную их сорбционными свойствами. Установлено, что объемный материал из стеклянных волокон, соединенных посредством поверхностных сил сцепления, является действенным и экологически безопасным решением для очистки воды. Этот материал не имеет запаха и производится в промышленных масштабах, что является значительным преимуществом.

Исследование, проведенное авторами [47], направлено на создание универсального композиционного материала, объединяющего биополимерный комплекс и минеральную подложку. Мембраны, полученные ими, отличаются высокой степенью очистки и способностью удалять частицы различного размера, что делает их подходящими как для ультра-, так и для микрофильтрации. Разработанные мембранные фильтры обладают широким спектром возможного применения и не ограничиваются только очисткой сточных вод. Исследования

Бровко О.С. и др. [47] показали, что нанесение полиэлектролитных комплексов на минеральную подложку способствует повышению эффективности фильтрации композита. Добавление биополимерного слоя в эквимоллярных пропорциях увеличивает эффективность фильтрации взвешенных веществ до 15 %. Полученные новые материалы для фильтрации обладают высокой стойкостью к агрессивным средам, что является несомненным преимуществом.

Шафир А.И. и соавторы [48, 49] тестировали бумажные фильтры из алигнина, предназначенные для очистки вентиляционного воздуха от микроорганизмов и пыли. Внешняя поверхность фильтров обрабатывалась 20 %-м раствором специального пылесвязывающего вещества под названием эмульсол. Результаты показали, что такие фильтры способны задерживать до 80 % частиц бактериофага. Таким образом, бумажные фильтры из алигнина рекомендованы авторами для широкого применения в вентиляционных системах с целью очистки воздуха от пыли и микроорганизмов.

Дальнейшие исследования в этой области играют важную роль в развитии промышленности и науки. Необходимо продолжить исследования, направленные на улучшение технологий производства фильтровальной бумаги с целью создания материалов с оптимальными характеристиками, сочетающими высокую производительность с учетом требований экологической безопасности. Такие усилия могут привести к разработке инновационных решений, способных значительно повысить эффективность фильтрации в различных отраслях промышленности и повседневной жизни.

1.2 Нетканые материалы и их свойства

Нетканые материалы представляют собой полотна и изделия, созданные из волокон, нитей и других текстильных материалов, объединённых механическим, физико-химическим или комбинированным способом и включают как натуральные, так и химические компоненты [50].

В начале 1930-х годов началась эпоха нетканых материалов. Первые из них

были созданы в Европе из вискозных волокон, скрепленных с помощью химических связующих. Со временем были разработаны и другие методы производства, использующие различные виды сырья и способы соединения. Интерес к этим материалам возник быстро, так как выяснилось, что их производство нестандартными методами и возможность использования различных видов волокон как по отдельности, так и в различных комбинациях (часто невозможных при традиционном производстве тканей) в сочетании с характеристиками, свойственными тканям, придают им совершенно новые свойства. Современные нетканые материалы стали одним из основных видов текстильной продукции во многих странах [50].

С 2017 по 2021 год продажи нетканых материалов в России выросли на 50 %, с 5,43 млрд. м² до 8,17 млрд. м². Продажи росли постоянно в течение всего этого периода. В 2020 году темп роста продаж достиг максимального за последние пять лет уровня и составил 23,4 %. Это произошло из-за увеличения спроса на медицинские маски, вызванного пандемией. В 2021 году продажи увеличились еще на 16,5 %, в основном из-за высокого спроса на средства защиты от коронавируса [51].

Полимерные волокнистые фильтры играют важную роль в промышленных системах. Почти каждый процесс в промышленности требует очистки воздуха, воды или технологических жидкостей от различных загрязнений. В промышленности и повседневной жизни широко применяются системы вентиляции и кондиционирования, проводится очистка воздуха в помещениях, обеспечивается подготовка питьевой воды, а также очищаются сточные воды, рабочие жидкости машин и устраняются выбросы газов. Мировая тенденция к улучшению экологии производства приводит к расширению ассортимента фильтров на основе волокнисто-пористых полимерных материалов, которые давно зарекомендовали себя как основные составляющие систем очистки [52, 53].

В качестве фильтров, в медицине, в сельском хозяйстве, автомобилестроении, строительстве и для создания гигиенических изделий, геотекстиля, одежды, утиплителей и прочего применяются полимерные нетканые материалы.

Производство нетканых материалов активно развивается, появляются новые технологии и продукты с улучшенными свойствами и более широкими возможностями применения [54-57].

Основные характеристики эксплуатации нетканых материалов включают их легкость и прочность, которые сочетаются с доступной ценой, удобством использования, а также устойчивостью к низким и высоким температурам. Нетканые материалы обладают широким диапазоном температурной устойчивости, от -60 до +100 °C [58].

В сравнении с традиционными методами текстильного производства, такими как ткачество и прядение, производство нетканых материалов отличается простотой технологии, увеличением производительности оборудования, разнообразием ассортимента материалов, более низкой стоимостью производства, возможностью полной автоматизации процесса и хорошими эксплуатационными характеристиками самих материалов [59].

Свойства нетканых материалов зависят от их структуры и способа производства, природы сырья. Нетканые материалы вырабатывают из натуральных (хлопковых, льняных, шерстяных) и химических (вискозных, полиэфирных, полиамидных, полиакрилонитрильных, полипропиленовых) волокон, а также вторичного волокнистого сырья (волокна, регенерированные из лоскута и тряпья) и коротковолокнистых отходов химических и других отраслей промышленности [60, 61].

1.2.1 Сырьевые материалы для изготовления полимерных нетканых материалов

Основным исходным компонентом для изготовления текстильных изделий служат волокна. Химические волокна производятся из продуктов химической обработки естественных полимеров (искусственные волокна) или из синтетических полимеров (синтетические волокна). Для производства синтетических волокон используются синтетические полимеры, получаемые путем химического синтеза

из нефти, каменного угля или природного газа [62, 63].

Капроновое волокно изготавливается в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 16008-79, что гарантирует его высокое качество и стабильность характеристик. Производятся волокна как с обычным круглым сечением, так и с более сложным профилированным, включая полые варианты, что позволяет расширить их применение. Ключевыми преимуществами капрона являются его высокая прочность, устойчивость к износу и эластичность. Это волокно обладает стойкостью к воздействию микроорганизмов и щелочей, что делает его незаменимым для различных промышленных и бытовых нужд, особенно там, где важна долговечность и гигиеничность материалов. Однако его недостатками являются способность накапливать статическое электричество и недостаточная устойчивость к солнечному свету.

Лавсановое волокно, предназначенное для смешивания с шерстью, изготавливается в соответствии с ГОСТ 10435-83 и выпускается в двух вариантах: матовое натурального цвета и окрашенное в массу, а также кудрявое. Существует также блестящее лавсановое волокно с извитой структурой, окрашенное в черный цвет. Для смешивания с хлопковыми и льняными волокнами используется лавсановое волокно по ГОСТ 13231-77, доступное в трех вариантах: матовое с извитой структурой, матовое без извитости и блестящее с извитой структурой. Лавсановое волокно отличается прочностью, упругостью и объемностью, но имеет недостатки, такие как низкая влагопоглощаемость и склонность к образованию катышков.

Нитроновое волокно, производимое по ГОСТ 13232-79, выпускается неокрашенным, блестящим или матированным с извитой структурой. Оно отличается наивысшей светостойкостью и внешне напоминает шерсть. Однако у этого волокна есть и минусы, такие как слабая износостойкость и повышенная хрупкость.

Хлориновое волокно вырабатывают в соответствии с ГОСТ 10215-72. Волокно устойчиво к действию микроорганизмов, плесени, химических веществ. К недостаткам волокна относят недостаточную термостойкость.

Полипропиленовые волокна, вторые по скорости производства и объему выпуска, обладают высокими механическими свойствами, неизменностью при воздействии влаги, устойчивостью к химическому и биологическому воздействию, а также биоинертностью. Большая часть из них производится с использованием физических и химических модификаций, что значительно повышает их эксплуатационные характеристики. Они характеризуются низкой плотностью – от 0,91 до 0,92 г/см³, что позволяет уменьшить расход материала при производстве различных изделий. Однако их недостатком является относительно низкая термостойкость, составляющая 110 – 115 °С [64-67].

Полиамидные волокна продолжают оставаться значимыми в производстве и потреблении, их производство постепенно растет, хотя и медленными темпами. Использование различных форм этих волокон, включая текстильные и технические нити, текстурированные ковровые жгуты и другие продукты, остается стабильным, хотя производство штапельных волокон ограничено. Последние используются в смесях с другими видами волокон, однако постепенно уступают место полиэфирным и полипропиленовым волокнам [64-67].

Полиакрилонитрильные волокна, характеризующиеся разнообразным набором потребительских свойств, преимущественно применяются в производстве тканей для верхней одежды в смеси с шерстью и другими волокнами, а также для верхнего трикотажа, искусственного меха и прочих изделий. Производство этих волокон, включая различные модификации, постепенно, хотя и медленно, растет. Нити на основе полиакрилонитрила выпускаются ограниченными партиями для определенных технических целей. Стоит отметить, что в настоящее время полиакрилонитрильные волокна и нити являются основным исходным материалом для производства углеродных волокон [64-67].

В 60-70-х годах волокна на основе поливинилового спирта активно развивались благодаря своим превосходным эксплуатационным качествам, таким как высокая прочность и устойчивость к воздействию воды. Однако со временем производство этих волокон сократилось. Основными причинами стали высокая энергоемкость процесса производства и сложности в получении самого

поливинилового спирта, который требует сложных технологий и значительных затрат на сырье [66, 67].

Кроме того, для изготовления полимерных нетканых материалов могут использоваться различные добавки и модификаторы, такие как антиоксиданты, стабилизаторы, пигменты и антимикробные вещества. Важной составной частью нетканых материалов, как и волокна, являются связующие. Для производства нетканых материалов используют полимерные связующие. Обычно доля связующих в материалах около 0,3 [68].

1.2.2 Способы производства нетканых материалов

Существуют три вида способов производства нетканых материалов:

- механический;
- физико -химический;
- комбинированный.

К числу механических методов изготовления нетканых материалов относятся методы, включающие вязально-прошивной, иглопробивной и валяльно-войлочный подходы.

При использовании вязально-прошивного метода структурные элементы соединяются путем прошивки нитями на специальной вязально-прошивной машине (рис. 1.8).

Производство вязально-прошивных нетканых материалов основано на применении механизма формирования петель, где для каждой иглы подается отдельная нить. В процессе работы все иглы синхронно прокалывают волокнистую основу, протягивая через нее нити, а затем возвращаются в исходное положение. В качестве материалов для провязывания могут использоваться как натуральная хлопковая пряжа, так и синтетические волокна.

Наиболее экономичный метод – холстопршивной, который позволяет получать материалы, по своим свойствам близкие к тканям и трикотажу. Этот метод не только экономичен, но и универсален, что делает его популярным в

различных сферах производства.

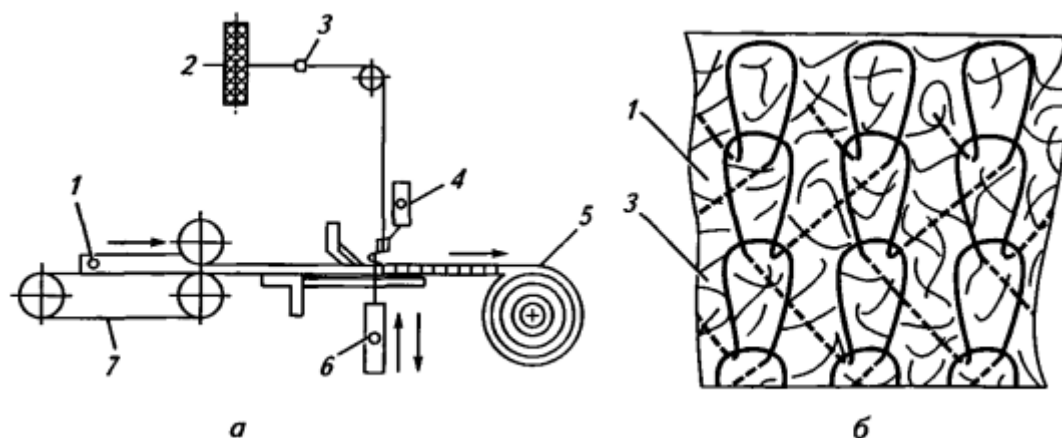


Рисунок 1.8 – Схема получения волокнистого холстопршивного нетканого материала (а) и его лицевая сторона (б):

1 – волокнистый холст; 2 – навой; 3 – текстильная нить; 4 – проушина;
5 – товарный вал; 6 – пазовые иглы; 7 – конвейер

При использовании иглопробивного метода (рис. 1.9), нетканые материалы производятся на специальных иглопробивных машинах, где волокна в холсте скрепляются за счет механического переплетения, возникающего при многократном прокалывании иглами с зазубринами. Это приводит к тому, что волокна верхнего слоя при проникновении игл вглубь материала уплотняются, что укрепляет структуру ткани [69].

Вязально-войлочный метод – волокнистый материал, главным образом состоящий из шерсти, подвергается механическим воздействиям в специальных условиях и средах (смятие, сжатие). Эти процессы вызывают эффект свойлачивания, при котором отдельные шерстяные волокна сцепляются друг с другом, образуя плотную и однородную структуру. В результате этого соединения волокон материал становится настолько прочным, что его уже невозможно разделить на исходные волокна.

Физико-химические методы предполагают объединение компонентов нетканого материала с помощью различных связующих веществ.

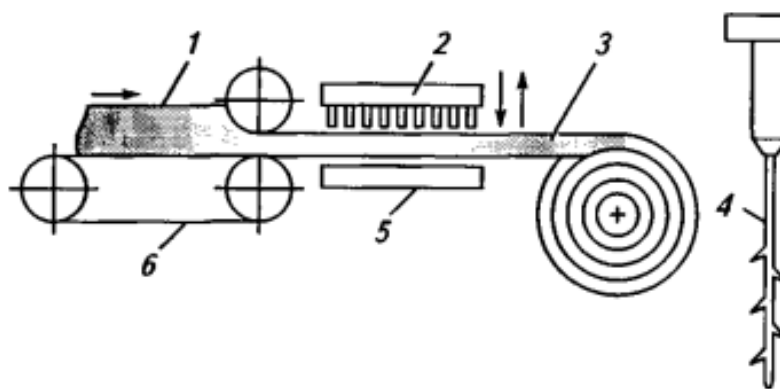


Рисунок 1.9 – Схема получения нетканого волокнистого материала способом иглопробивания:

- 1 – волокнистый холст; 2 – подвижная игольница; 3 – нетканый материал;
4 – игла; 5 – неподвижная плита; 6 – конвейер

Это могут быть жидкие латексы, например, водные дисперсии синтетических каучуков, или сухие связующие, такие как термопластичные легкоплавкие волокна, нити, порошки, пленки и другие материалы.

Среди комбинированных методов находятся техники, которые объединяют два или более из перечисленных выше.

Материалы, произведенные физико-химическими или комбинированными методами, классифицируются как клееные нетканые полотна [63, 69, 70].

1.2.3 Виды полимерных нетканых материалов и способы их получения

Преимущественное развитие в настоящее время получили нетканые материалы – это спанбонд, спанлейс, мелтблаун [71].

Спанбонд – это нетканый материал из полипропилена, обладающий микропористой и паропроницаемой структурой. Он устойчив к кислотам и щелочам и легко поддается стерилизации. Добавляя специальные компоненты при производстве спанбонда, можно придать ему дополнительные свойства, такие как антисептические, гидрофильные, гидрофобные, антибактериальные и другие. Спанбонд впитывает влагу, воздухопроницаемый, износостойкий, достаточно

Именно благодаря слою мелтблаун, материалы СМС обладают повышенными фильтрующими и барьерными характеристиками, низкой бак-проницаемостью, что незаменимо при изготовлении медицинской одежды, одноразовой одежды для чистых помещений и лабораторий, антификальных барьеров и заднего слоя в подгузниках, и пр.

Мелтблаун – нетканый материал, аналогичный материалу спанбонд, полученный вытягиванием непрерывных элементарных нитей экструдированных полимеров через специальные фильеры. Основными характеристиками материалов мелтблаун являются: мягкость, эластичность, смачиваемость, химическая стойкость сформированных волокон и другие свойства [72].

Процесс производства полотна методом мелтблаун заключается в том, что расплавленный полимер экструдирован через тонкие отверстия специальной матрицы.

Под воздействием горячего воздуха полимерные струи растягиваются в ультратонкие волокна, которые затем оседают на подложку, образуя рыхлое волокнистое полотно. Этот метод позволяет получить материалы с высокой фильтрационной способностью и применяется для создания фильтров, медицинских масок и защитных тканей. В зависимости от назначения, этот материал может быть дополнительно скреплен каландрами или сразу отправлен на намотку [71-75].

1.2.4 Сфера применения полимерных нетканых материалов

В современном мире полимерные нетканые материалы занимают важное место в различных отраслях промышленности и научной деятельности. Их уникальные свойства и преимущества способствуют широкому спектру применения, включая текстильную промышленность, медицину, автомобильную промышленность, строительство и другие области.

Полимерные нетканые материалы нашли широкое применение в текстильной промышленности. Например, при производстве одежды и текстиля для дома, белья.

Благодаря своей легкости, прочности и воздухопроницаемости, они стали популярным выбором для создания удобных и долговечных изделий [76].

В медицине такие материалы используются для изготовления медицинских масок, повязок, одеял и других изделий. Применение нетканых материалов в медицине обосновано их выдающимися характеристиками: микропористостью, способностью к взаимодействию с водой (или гидрофобностью), эффективной циркуляцией воздуха, сочетанием защиты от пыли и антисептических свойств (препятствующих микроорганизмам, снижающих проницаемость для бактерий), отсутствием ворса и удобством в использовании. Их способность быть гипоаллергенными и дышащими делает их идеальным материалом для медицинских целей [72, 77-79].

В автомобильной промышленности полимерные нетканые материалы применяются для создания салонных отделочных материалов, шумоизоляционных и теплоизоляционных материалов, а также для производства фильтров и других компонентов автомобильного интерьера [76, 80].

В строительстве полимерные нетканые материалы используются для гидроизоляции, теплоизоляции, армирования битумных и полимерных материалов, а также для производства геотекстиля, улучшающего характеристики строительных конструкций [76].

Нашли свое применение полимерные нетканые фильтры и в сфере пищевой промышленности, например, для очистки молока от механических примесей. Они не токсичны, гидрофобность их позволяет достичь высокой скорости фильтрации, устойчивы к воздействию микроорганизмов, моющих средств, слабым органическим и минеральным кислотам, щелочам, пару, воде [81-83].

Нетканые полимерные материалы нашли свое применение в фильтровании оборотных и сточных вод на горных предприятиях. Опытно-промышленные испытания показали высокую задерживающую способность фильтровальных материалов, поэтому их применение в очистке вод на горных предприятиях необходимо [53, 84].

Исследование сфер применения полимерных нетканых материалов

представляет большой интерес для научного и промышленного сообщества. Понимание и оптимизация их свойств и применения могут привести к разработке новых материалов и технологий с множеством перспективных возможностей для улучшения качества жизни и развития различных отраслей промышленности.

1.2.5 Способы улучшения свойств полимерных нетканых материалов и новые сферы их применения

Полимерные нетканые материалы широко используются в различных отраслях промышленности, начиная от медицины и текстиля, и заканчивая автомобильной и строительной промышленностью. Однако, несмотря на их многообещающие свойства, существует потребность в постоянном усовершенствовании их характеристик для более эффективного использования.

Так в работе [85] технология спанбонд претерпела технологические инновации, в основном обусловленные требованиями рынка гигиены, а также повышением гибкости. В настоящее время компания RieterPerfojet (Франция) предлагает свою технологию Perfobond, которая разработана с оригинальной геометрией, которая укладывает нити под углом 45° от направления машины. В нетканых материалах Perfobond основное направление ориентации нитей отличается от машинного направления. Это может быть большим преимуществом для некоторых применений спанбонд.

Авторы исследования [86] предлагают использовать отходы от производства полиэтилентерафталатных бутылок как дополнительный источник сырья для создания нетканых материалов. Это достигается путем переработки вторичной гранулы, полученной из использованных бутылок. Гранулу плавят и фильтруют расплав, после чего полученное сырье можно использовать для производства полиэфирных волокон.

Баженов В. И. [87] в своей работе рассматривает использование двухкомпонентных волокон, особенно с «ядром» и «оболочкой», для создания нетканых материалов. При этом оболочка выполнена из полимеров или

сополимеров, которые плавятся при более низкой температуре, что способствует улучшению свойств готового материала, что обеспечивает хорошее сцепление, тогда как ядро состоит из стандартных полимеров, производимых в больших объемах. Использование таких волокон является ключевым направлением в создании новых синтетических волокон и нитей с универсальными свойствами. В частности, волокна «ядро-оболочка» позволяют получать нетканые материалы с высокой упруго-эластичностью при их перпендикулярном расположении к направлению движения холста.

Автором работы [88] предложен метод создания нетканых материалов, при котором обеспечивается различный размер капилляров во внешнем и внутреннем слоях. Это позволяет проводить поэтапную фильтрацию как крупных, так и мелких частиц, обеспечивая увеличенный срок службы фильтров и эффективное задержание частиц. Полученные материалы характеризуются высокой прочностью и стабильностью структуры.

Изменение химического состава или текстуры поверхности полимерных нетканых материалов может улучшить их адгезию к загрязнениям, прочностные характеристики и обеспечить лучшее разделение фильтруемых компонентов.

Так в работе [89] говорится, что прочность нетканых материалов может быть усилена с использованием специального метода обработки с латексом. Для предотвращения перемещения частиц латекса применяется гель-образующий реагент, состоящий из солей цинкаммония и неионогенных полимеров. Эти добавки вводятся в латекс перед его пропиткой. В результате применения данного подхода возможно достижение более высокой прочности у нетканых материалов.

Авторы исследования [90] представили инновационную разработку полимерных нанокомпозитных фильтров, предназначенных для эффективного удаления красителей, которые устойчивы к биоразложению и не удаляются традиционными методами очистки. Созданы новые мягкие и покрытые фильтры с применением нанокомпозита полистирол-акрил/ ZnO на полиэфирной основе с использованием методов покрытия лезвиями и однованный. Основные результаты подтверждают, что функционализированный слой способен выполнять

уникальные фильтрующие функции текстильного материала в зависимости от выбранного метода обработки.

Также один из способов модернизации свойств нетканых полимерных фильтров – это внесение функциональных добавок. Этот метод включает введение в состав материала различных добавок, таких как активированные угли, катализаторы, антибактериальные агенты и т.п. Эти добавки способствуют повышению эффективности фильтрации за счет увеличения способности материала задерживать загрязнения и улучшения его функциональных характеристик.

Так в патенте [91] авторы предлагают добавлять во время изготовления нетканых полотен в волокна 2 мас. % бактерицидной добавки Дезант для получения антимикробного нетканого материала для медицинских и санитарно-гигиенических изделий краткосрочного пользования.

В патенте [92] антимикробных свойств нетканых материалов добивались с помощью препаратов: повидон-йод, фурацилин, хлоргексидин, биглюконат или фурагин, количество которого составляет 0,1 % – 10 % от массы волокна. Нанесение препарата осуществляется аэрозольным методом или методом плюсования с последующим высушиванием холста при температуре не выше 90 °С.

В другом патенте [94] было установлено, что антимикробные свойства нетканых материалов достигались за счет добавления в полиамидные нановолокна антимикробных компонентов в концентрации от 0,4 до 35 % от общей массы. В качестве таких компонентов использовались гуанидины, наночастицы металлов, стабилизированные соли серебра и соли четвертичных аммониевых оснований.

Этот материал обладает антимикробной активностью до 100 %, высокой воздухопроницаемостью до 1300 л/м²×ч и значительной устойчивостью к разрывам.

Известен метод получения антимикробных нетканых материалов из синтетических волокон и их смесей, включая материалы, содержащие антимикробный кремнийорганический препарат. Для введения препарата

используется спиртовой раствор, полученный путем конденсации олигоэтоксисилоксана (ЭТС-40) с алкиловым эфиром 4-гидроксibenзойной кислоты. Это техническое решение обеспечивает придание нетканому материалу стабильных антимикробных свойств при сохранении его высоких эксплуатационных характеристик [94].

Применение нанотехнологий позволяет вводить наночастицы в состав полимерных нетканых материалов. Например, наночастицы металлов, оксидов или углеродных материалов, которые могут улучшить фильтрационные свойства материала за счет увеличения его поглощающей способности или повышения его механической прочности.

В работах Тарасова А.В. и соавторов [95, 96] представлены результаты исследования по изменению структуры микрофильтрационных полиамидных мембран с использованием наночастиц порошка серебра и поликатионов. Для модификации мембран применялись два метода: добавление модифицирующих компонентов в раствор для формования мембраны и нанесение этих компонентов на поверхность готовой мембраны. Полученные модифицированные мембраны проявляют бактериостатические свойства, что подтверждается отсутствием роста микроорганизмов на их поверхности и в фильтрате.

Изложенные в данном разделе методы и технологии позволяют сделать вывод о том, что существует широкий спектр возможностей для улучшения свойств полимерных нетканых фильтров. Разнообразие подходов отражает актуальность исследований в этой области и стремление к созданию более эффективных и функциональных материалов.

Таким образом, дальнейшие исследования и разработки в области улучшения свойств полимерных нетканых фильтров имеют огромный потенциал для создания более эффективных и устойчивых материалов, способных удовлетворить потребности различных промышленных секторов и повысить качество жизни.

1.3 Определение электрета. Виды электретов и способы их получения

Электрет представляет собой диэлектрик, который продолжает сохранять поляризованное состояние в течение длительного времени после удаления внешнего воздействия, вызвавшего его поляризацию или зарядку, и создает в окружающем пространстве постоянное или почти постоянное электрическое поле. Термин «почти постоянное» подразумевает, что временные интервалы, в течение которых наблюдается заряд электрета, существенно превосходят временные масштабы, в пределах которых изучается этот электрет [97-99].

Электреты классифицируются в зависимости от методов их создания и разделяются на две основные категории: электреты, заряды которых обусловлены в основном остаточной поляризацией, и электреты, заряды которых обусловлены инжектированными зарядами. Первая группа включает в себя термоэлектреты, криоэлектреты, фотоэлектреты и механоэлектреты; вторая группа включает электроэлектреты, радиоэлектреты, трибоэлектреты и короноэлектреты [97-99].

Существуют разные методы создания электретов. Один из них – нагрев диэлектрика в электрическом поле после охлаждения. Этот способ формирует термоэлектреты. Другой метод – освещение диэлектрика. Создавать фотоэлектреты, возможно только из определенных фотопроводящих материалов. Третий метод – использование только электрического поля без нагрева или освещения для производства электроэлектретов. Механические деформации полимеров также могут вызвать электретный эффект, создавая механоэлектреты. Радиоактивное облучение диэлектрика в электрическом поле производит радиоэлектреты. Трибоэлектреты образуются при трении диэлектрика. Ещё один метод включает застывание раствора органического растворителя и смолы на полимерной подложке в электрическом поле, создавая криоэлектреты [97].

Метод коронного разряда является одним из часто используемых способов получения полимерных электретов. Электреты, произведенные через данный процесс, известны как короноэлектреты [98, 100].

Стабильный эффект наблюдается у ряда материалов при заряджении их

поверхности в поле коронного разряда. Подробнее рассмотрим схематическую установку короноэлектретов на рис 1.11.

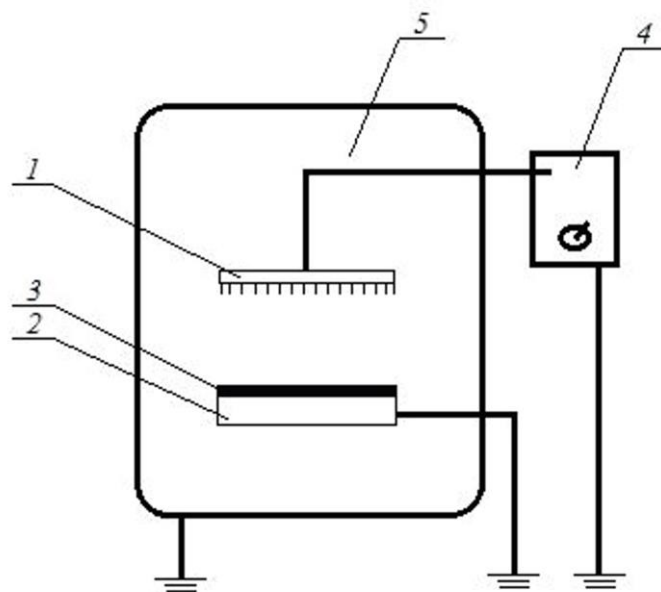


Рисунок 1.11 – Схематическое изображение установки для изготовления короноэлектретов:

1 – разрядный электрод; 2 – заземленный электрод; 3 – образец; 4 – источник питания разрядного электрода; 5 – нагревательная камера

При создании короноэлектретов образец диэлектрика помещается в поле коронного разряда. Это достигается за счет использования металлических игл, струн, натянутых вдоль поверхности образца, или других устройств, подключенных к источнику высокого напряжения. Образец диэлектрика размещается на заземленном металлическом электроде. Процесс коронирования приводит к образованию лавины электронов и ионов, которые осаждаются на поверхности диэлектрика, образуя гомозаряд, который может быть зафиксирован.

Этот заряд и создает электретный эффект, который позволяет материалу сохранять заряд в течение продолжительного времени после удаления внешнего источника напряжения. Таким образом, короноэлектреты обладают способностью «помнить» электрические поля, с которыми они взаимодействовали [97, 101-103].

Фиксация электрического заряда происходит благодаря различным механизмам улавливания. Поверхностные механизмы могут быть представлены

химически активными добавками, специфическими поверхностными дефектами, обусловленными процессами окисления, присоединенными молекулами, различиями в структуре поверхности и внутренней структуре. Образование внутренних механизмов также может быть связано с присутствием добавок, дефектов отдельных молекулярных единиц, аномалий в цепочках и недостатков кристаллических структур. Границы фаз и свободные пространства полимера также могут выступать в качестве механизмов улавливания заряда [104, 105].

1.3.1 Практическое применение электретов

Электреты находят широкое применение в различных сферах. В первую очередь, они используются в электроакустических устройствах, которые преобразуют звук в электрический сигнал и наоборот. Сюда входят электретные микрофоны, головные телефоны для слабослышащих, гидрофоны и др. [106, 107].

Также электреты используются для создания электромеханических преобразователей, включая звукозаписывающие устройства, сенсорные переключатели и ударные датчики. Важно отметить, что на основе электретов производят электретные воздушные фильтры, что особенно ценно в условиях повышенной безопасности, например, в шахтах или деревообрабатывающих цехах [106].

Кроме того, электреты используются в электрофотографии [108], электростатической записи информации и электретной дозиметрии для измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения.

Электретный эффект нашел неожиданное применение в медицине. Исследования показали, что искусственные сосуды, не подвергшиеся обработке электрическим полем, способствуют повышенной свертываемости крови. Однако зарядка их внутренней поверхности отрицательным электрическим потенциалом (электретирование) значительно снижает риск тромбообразования [106].

В работах Моргунова М. С. и соавторов [109-112] исследовано, что в травматологии и ортопедии для поощрения регенерации тканей одним из наиболее эффективных электретных материалов является анодный оксид тантала.

Используется чистый тантал, покрытый анодным оксидом, выращенный при помощи электрического напряжения в электролитической ячейке, для создания имплантируемых ортопедических электретов. Анодный оксид тантала обладает высокой диэлектрической проницаемостью, что позволяет ему запасать и удерживать большие объемы заряда. Это делает его идеальным для использования в организме. Особенно это актуально при необходимости продолжительного воздействия на ткани, например, при дегенеративно-дистрофических заболеваниях суставов.

Авторами Линником С.А. и Хомутовым В.П. [113-115] было установлено, что применение электретов в медицинской практике для лечения остеоартроза имеет еще один важный побочный эффект – снижение болевого синдрома. Использование ортопедических электретов приводит к уменьшению боли в суставе и улучшению его подвижности.

В целом, электреты находят применение во многих областях науки и техники благодаря своей универсальности, надежности и простоте конструкции [106].

1.3.2 Электретный эффект в фильтрах

Петрянов И.В. является ведущим исследователем в области создания электретных волокнистых фильтров. Разработанные им фильтры состоят из слоя тонких заряженных полимерных волокон, который наносится на основу из ткани или нетканого материала, сделанную из более толстых полимерных волокон, скрепленных между собой [116].

Электреты применяются в фильтрации для повышения эффективности очистки воздуха, так как они способны притягивать частицы загрязнений, включая дым, пыль, аллергены и другие микрочастицы. Кроме того, электретные фильтры используются для отделения жидких аэрозолей из воздуха и фильтрации жидких сред от механических примесей, биозагрязнений [116, 117].

Характерная особенность электретных фильтров – устойчивость заряда к влажности и колебаниям температур: заряд удерживается независимо от

повышения или понижения влажности и температуры окружающего воздуха [118].

Исследование Гольдаде В. А. и его коллег [119] показало, что фильтрующие материалы на основе полиэтилена, полипропилена и других, полученные методом мелтблаун, обладают поляризационным зарядом внутри волокон, который сохраняется длительное время. Этот заряд связан с особенностями процесса производства и влияет на различные свойства материала, включая эффективность фильтрации и электретные характеристики.

В работе [120] Гольдаде В.А. и соавторы рассматривают методы удержания электретного заряда в волокнистых полимерных материалах. Они показывают, что химическая модификация поверхности полимеров с использованием трихлорида фосфора способствует формированию функциональных групп на поверхности материала, способных эффективно удерживать электретный заряд. Электретные волокна, содержащие фосфорсодержащие нанокластеры и кислородсодержащие группы, могут быть использованы для фильтрации газов и жидкостей.

Китайскими учеными была разработана полиуретановая электретная нановолоконная мембрана для фильтрации воздуха. Исследования показали, что PU-Si₃N₄ композитная мембрана из нановолокна, нанесенная на оконную сетку плотностью 1,22 г/м², показала лучший фильтрационный эффект, хорошую воздухо- и светопроницаемость [121].

Ученые из Азербайджана исследовали: как аэрозоли, образующиеся при работе двигателей внутреннего сгорания, влияют на электретные заряды в пленках полиэтилентерефталата. Они изучили, как меняются электретные свойства этих пленок до и после контакта с аэрозольными частицами, и обнаружили, что эти изменения зависят от метода поляризации полимера и структурных изменений в его составе. Анализ токов трибоэлектростатического дефектоскопа показал различия в процессах релаксации электретных зарядов на поверхности и внутри пленок. На основе этих данных они пришли к выводу о возможности разработки эффективных и экономичных устройств для улавливания аэрозолей различного назначения [122, 123].

В исследованиях [124, 125] рассмотрено, как параметры коронного

униполярного разряда воздействуют на способность полисульфонамидных мембран разделять эмульсии «масло в воде» с частицами размером 50 кДа и 100 кДа [126]. Применение коронного разряда к мембранам приводит к повышению их эффективности.

Исследование, проведенное под руководством Дряхлова В.О. и Шайхиева И.Г. сфокусировано на том, как обработка коронным разрядом влияет на эффективность полиакрилонитрильных мембран при разделении водонефтяной эмульсии с частицами массой до 10 кДа. Показано, что наибольшая эффективность достигается при обработке мембран коронным разрядом при напряжении 5 и 10 кВ в течение 60 секунд [127, 128].

В работе [129] установлено, что воздействие электрического поля способствует улучшению прочностных характеристик различных видов фильтровальных бумажных материалов при приложении нагрузки на разрыв. Таким образом, результаты проведенных исследований доказали эффективность применения электретиrowания для увеличения прочности бумажных фильтров при воздействии на них растягивающих нагрузок. Это связано, во-первых, с ориентацией дипольных групп структурных элементов бумаги и, во-вторых, с увеличением межволоконных сил связей в фильтровальной бумаге.

Мусина Л.Р. и Галиханов М.Ф. [130] исследовали возможность создания электретной фильтровальной бумаги и её способности к фильтрации и сорбции. Было обнаружено, что обработка бумаги на 22 % замедляет скорость её впитывания из-за воздействия электрического поля на процессы сорбции воды. Кроме того, время, необходимое для распространения воды по поверхности электретной фильтровальной бумаги, увеличивается на 25 – 82 % из-за появления энергетического барьера на поверхности бумаги, который преодолевается силой, создаваемой при распространении. Однако применение электретиrowания значительно повышает эффективность фильтрации бумажных фильтров, так как мелкодисперсные частицы оседают на электретной фильтровальной бумаге за счёт кулоновского притяжения. Положительные результаты исследований позволяют рекомендовать использование электретной фильтровальной бумаги для очистки

парфюмерных жидкостей [131].

Таким образом, преимущество электретных фильтров заключается в их эффективности и длительном сроке службы. Они могут использоваться в различных областях, включая воздушную и водную очистку, медицинскую технику, а также в промышленности для очистки газов и жидкостей от загрязнений.

Научные исследования состава и свойств фильтровальной бумаги и нетканых полимерных полотен направлены на постоянное совершенствование продукции, чтобы соответствовать требованиям рынка и повышать эффективность фильтрации в различных областях применения. Кроме того, в связи с растущим спросом на экологически чистые материалы, актуальной является задача разработки методов производства и применения фильтров с минимальным воздействием на окружающую среду.

Показана возможность улучшения некоторых потребительских характеристик бумажных и полипропиленовых материалов при воздействии отрицательного коронного разряда. Однако причины изменения свойств материалов при электретировании не выявлены, следовательно, нет рекомендаций по методам направленного повышения эксплуатационных характеристик фильтровальных материалов обработкой в постоянном коронном разряде.

Крайне интересным является вопрос о влиянии электретного эффекта на антибактериальные свойства нетканых материалов на полипропиленовой основе, однако сведений об этом в научной и патентной литературе нет.

II ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Объекты исследования

Объектами исследования в данной работе являются:

- фильтрующие материалы на целлюлозной основе – $(C_6H_{10}O_5)_n$:
- фильтровальная бумага марки ФС (средней фильтрации) типа III плотностью 75 г/м² (ГОСТ 12026-76);
- обеззоленные фильтры «Синяя лента» плотностью 84 г/м² (ТУ 2642-001-13927158-2003);
- обеззоленные фильтры «Черная лента» плотностью 84 г/м² (ТУ 2642-001-42624157-98);
- обеззоленные фильтры «Красная лента» плотностью 84 г/м²;
- полипропиленовые нетканые полотна – $(C_3H_6)_n$:
- нетканые полотна, полученные методом «Спанбонд» плотностью 17 г/м²;
- нетканые полотна, полученные методом «Спанбонд» плотностью 20 г/м²;
- нетканые полотна, полученные методом «Мелтблаун» плотностью 25 г/м²;
- водно-спиртовой раствор, концентрация этилового спирта в воде 70 % по объему (ГОСТ 3639-79), в который для оценки эффективности фильтрации специально вводили целлюлозные волокна в определённом количестве, имитируя, тем самым, загрязнённую жидкость;
- вода дистиллированная (ГОСТ 6709-72);
- водонефтяная эмульсия на основе девонской нефти Тумутукского месторождения (Республика Татарстан), используемой в качестве дисперсной фазы в количестве 10 % по объёму, стабилизированной ПАВ марки «Косинтол-242» в количестве 1 % по объёму;
- аэрозоль хлорида натрия и масла (ГОСТ EN 13274-7-2021).

2.2 Подготовка образцов

Из фильтровальной бумаги и обеззоленных фильтров вырезались образцы размерами: для определения электретных характеристик – 70×70 мм, для определения сопротивления продавливанию в сухом состоянии – 110×110 мм (ГОСТ 26893-86); для определения сопротивления раздиранию – 46×63 мм (ГОСТ 13525.3-97); для определения фильтрующей и разделительной способности – 100×100 мм (ГОСТ 7584-89); для метода определения поверхностной впитываемости капельным способом – 200×200 мм (ГОСТ 12603-67); для комплексного испытания на разрыв – 15×150 мм (ГОСТ ИСО 1924-1-96); для определения краевого угла смачивания – 70×70 мм; для метода определения воздухопроницаемости и пористости – 100×100 мм (ГОСТ 30114-95); для исследования дзета-потенциала – 70×140 мм.

Из полимерных нетканых материалов вырезались образцы размерами 100×100 мм для определения фильтрующей и разделительной способности (ГОСТ 7584-89); для определения электретных характеристик – 70×70 мм; нетканые полотна, полученные методом «Спанбонд» плотностью 20 г/м^2 для микробиологических исследований – 100×100 мм.

Кондиционирование образцов перед испытанием проводили согласно ГОСТ 13523-78. Режим кондиционирования для образцов составил: относительная влажность воздуха $50 \pm 2 \%$, температура 23 ± 1 °C.

2.3 Действие коронного заряда на фильтры на бумажной и полипропиленовой основах

Образцы предварительно выдерживались в термошкафу при 105 °C в течение 10 мин.

После этого часть образцов (с применением лавсанной подложки или без нее) помещались в коронирующую ячейку, состоящую из электрода (рис. 2.1) в виде 196 заостренных игл, равномерно расположенных на площади 49 см^2 в виде квадрата.

Расстояние между образцом 2 и электродом 1 составляет 20 мм.

Охлаждение образцов проводилось в поле коронного разряда при напряжении поляризации $U_{\text{пол}} = 30$ кВ в течение 30 с.

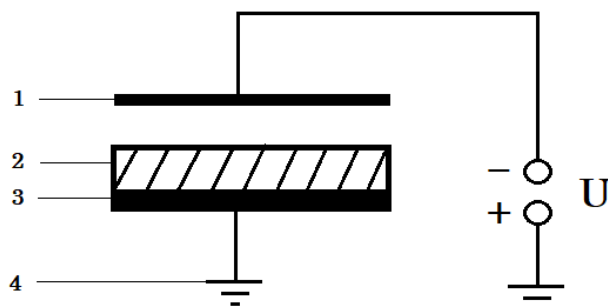


Рисунок 2.1 – Схема коронатора:

1 – коронирующий электрод; 2 – поляризуемый диэлектрик; 3 – нижний электрод;
4 – заземление; U – источник высокого напряжения

Спустя час после поляризации измерялись электретные характеристики образцов на приборе ИПЭП-1. Измерения проводились ежедневно в течение 10 дней, а затем – раз в неделю.

2.4 Методы исследования

2.4.1 Измерение электретных характеристик ЦБ и ПП образцов

Принцип действия измерительного прибора ИПЭП-1 основан на методе периодического экранирования приёмного электрода. Для этого используется вращающийся заземлённый экран (заслонка), который управляется двигателем и периодически закрывает приёмный электрод от электростатического поля. Когда экран закрывает электрод, напряжение на нём падает до нуля; когда экран открывает электрод, напряжение возрастает до уровня, пропорционального потенциалу в данной точке.

Этот прибор предназначен для бесконтактного измерения потенциала электростатически заряженных объектов, а также напряженности электростатического поля около заряженных плоских поверхностей и поверхностной плотности электрических зарядов. Измерение потенциала производится при расстоянии в 2 см от передней поверхности датчика до измеряемой поверхности.

2.4.2 Оптическая микроскопия для анализа поверхности

Исследование поверхности фильтровальных материалов с использованием фотографии – это методика, которая позволяет анализировать микроструктуру и морфологию поверхности материалов, используемых в различных фильтрационных процессах. Этот метод обычно применяется для оценки эффективности фильтрации, выявления дефектов на поверхности материалов, контроля качества производства, а также для исследования влияния различных параметров на структуру фильтровальных материалов.

Для изучения структуры исследуемых образцов использовали оптический микроскоп Bresser Junior с увеличением от 40х до 1024х. Перед началом работы необходимо установить на персональный компьютер приложение Photomizer SE, которое поставляется вместе с микроскопом. Образец размещали на предметное стекло микроскопа, затем подключали устройство MicrOcular.

2.4.3 Метод определения состава по волокну целлюлозных фильтровальных материалов

Метод определения состава (ГОСТ 7500-85) целлюлозных фильтровальных материалов с использованием реактивов Херцберга и Граффа является важным аналитическим методом для идентификации различных типов волокон в бумажных и целлюлозных материалах.

Реактив Херцберга (раствор хлор-цинк-йода) представляет собой раствор

хлористого цинка, йода и воды. Этот реактив используется для окрашивания целлюлозных волокон, чтобы сделать их видимыми и различимыми под микроскопом. Реактив Граффа С также используется для окрашивания и идентификации целлюлозных волокон. Этот реактив содержит хлорид цинка, калий йодид и йод.

Небольшой кусочек фильтровального материала помещали на предметное стекло микроскопа. Затем несколько капель реактива Херцберга или Граффа С наносили на образец, полностью его покрывая и оставляя образец на несколько минут, чтобы волокна могли окраситься.

Образцы исследовали под микроскопом при увеличении 120. Целлюлозные волокна окрашиваются в разные оттенки, что позволяет их идентифицировать и отличить от других типов волокон.

2.4.4 Фильтрующая способность материалов на ЦБ и ПП основах

Метод основан на установлении времени фильтрации жидкости определенного объема через испытуемый образец. Согласно ГОСТ 7584-89 подготовили по пять образцов фильтровальных видов бумаги диаметром 110 мм (рис. 2.2).

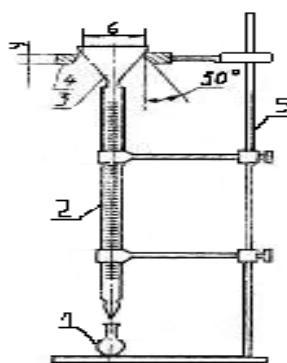


Рисунок 2.2 – Установка для фильтрации

1 – колба; 2 – бюретка; 3 – испытуемый образец (фильтр); 4 – кольцо; 5 – штатив;
d – внутренний диаметр кольца

Тестируемый образец складывали дважды взаимно перпендикулярно в виде воронки, следя, чтобы верхняя сторона бумаги при первом складывании оказалась внутри, и избегая повреждения краев сгиба.

Сложенный в виде воронки образец помещали в стеклянную воронку и наливали испытуемый фильтрат, заполняя воронку так, чтобы до края фильтра оставалось около 5 мм.

2.4.5 Фильтрующая способность материалов на ЦБ и ПП основах (под давлением)

Метод основан на установлении времени фильтрации водно-спиртовой жидкости определенного объема через испытуемые образцы.

Подготовили по пять образцов нетканых полотен, полученные методом «Спанбонд» плотностью 17 и 20 г/м² и обеззоленного фильтра «Красная лента» диаметром 110 мм.

Поместили фильтровальные материалы на пористую поверхность воронки Бюхнера. Смочили материал тестовой жидкостью, чтобы он плотно прилегал к поверхности. Соединили боковой штуцер колбы Бунзена с вакуумным насосом с помощью вакуумного шланга (рис. 2.3).

Налили испытуемый фильтрат в воронку Бюхнера, включили вакуумный насос, чтобы создать отрицательное давление в колбе Бунзена.

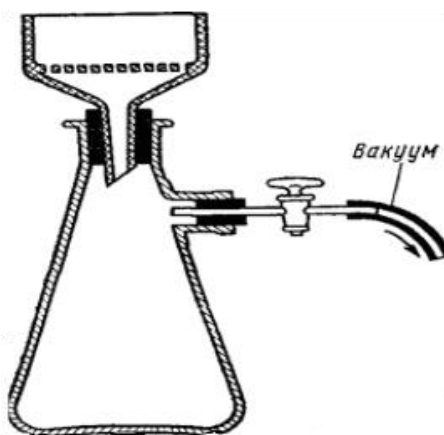


Рисунок 2.3 – Установка для фильтрации: колба Бунзена и воронка Бюхнера

Жидкость начнет проходить через фильтрующий материал, оставляя твердые частицы на его поверхности. Засекли время, необходимое для прохождения определенного объема жидкости через фильтрующий материал. Это время используется для оценки фильтрующей способности материала.

2.4.6 Разделительная способность материалов на ЦБ и ПП основах

Испытание проводилось согласно ГОСТ 7584-89. Оценка разделительной способности включает измерение процента задержанных частиц или компонентов и общего потока через материал, что позволяет определить его эффективность в конкретных условиях эксплуатации.

2.4.7 Определение чистоты фильтрата с помощью визуальной оценки

Визуальная оценка чистоты фильтрата, будь то под микроскопом или простым глазом, это один из наиболее простых и доступных методов анализа (ГОСТ 7584-89). Этот метод широко используется как в лабораторных условиях, так и на производстве для быстрой предварительной оценки качества образца.

Перед тем как провести визуальную оценку, фильтрат требуется предварительно подготовить. Образец проходит через фильтрацию после того, как был предварительно загрязнен определенным количеством целлюлозных волокон. После фильтрации образца его внимательно рассматривают под ярким освещением, используя микроскоп, чтобы увидеть частицы, прошедшие через фильтр.

Результаты визуальной оценки записывают в процентном соотношении между исходным количеством целлюлозных волокон (при загрязнении фильтрата перед испытанием) и волокнами, которые прошли через фильтр. Визуальная оценка чистоты фильтрата может быть полезной для быстрого выявления явных проблем или изменений в образце. Однако она может быть ограничена по своей чувствительности и не всегда способна обнаружить низкопроцентные загрязнения.

2.4.8 Определение чистоты фильтрата по показателю ХПК

Показатель ХПК был измерен с использованием автоматического титратора модели «Т70» от компании «Mettler Toledo» с применением ускоренной методики. Для анализа к 1 см³ исследуемой пробы добавляли 2,5 см³ 0,25 Н раствора бихромата калия и 7,5 см³ концентрированной серной кислоты, что приводило к повышению температуры смеси выше 100 °С. Спустя несколько минут раствор охлаждали до комнатной температуры, затем добавляли 100 см³ дистиллированной воды. Проба закреплялась в титраторе, где с помощью программного обеспечения проводилось определение необходимого параметра. Параллельно измеряли титр соли Мора и проводили холостой эксперимент, используя дистиллированную воду вместо исследуемой пробы.

Показатель ХПК рассчитывался по следующей формуле:

$$\text{ХПК} = \frac{(V_{\text{хол}} - V) \times T \times 0,25 \times 8 \times 1000}{V_{\text{п}}}, \quad (2.1)$$

где $V_{\text{хол}}$ – объём соли Мора, пошедший на титрование холостой пробы, см³;
 V – объём соли Мора, пошедший на титрование анализируемой пробы, см³;
 T – коэффициент поправки; $V_{\text{п}}$ – объём пробы, см³.

2.4.9 Поверхностная впитываемость ЦБМ капельным способом

В соответствии с ГОСТ 12603-67 испытывали пять образцов с верхней и пять с сеточной стороны.

Бюретку наполняли до отметки 25 см³ дистиллированной водой. При проведении испытания с водой держатель прибора устанавливался горизонтально. Образец фиксировали в держателе, а бюретку размещали таким образом, чтобы её конец находился на расстоянии ~ 50 мм от поверхности образца. После открытия крана на поверхность образца наносили каплю жидкости и одновременно запускали секундомер. Время испытания фиксировалось по моменту исчезновения

блеска на поверхности образца, после чего секундомер останавливался. Итоговым результатом считалось среднее арифметическое времени впитываемости (в секундах) для каждой стороны образца.

2.4.10 Сопротивление раздиранию ЦБМ (метод Эльмендорфа)

Метод основан на измерении силы, требуемой для разрыва заранее надрезанного образца определенной длины, который состоит из четырех наложенных друг на друга слоев. Разрыв осуществляется с помощью маятника, который прикладывает силу, двигаясь перпендикулярно к плоскости образца. Потеря потенциальной энергии маятника позволяет определить работу, затраченную на разрыв образца.

Сопротивление раздиранию определяется прибором ELMENDORF 09ED (рис. 2.4) по ГОСТ13525.3-97.

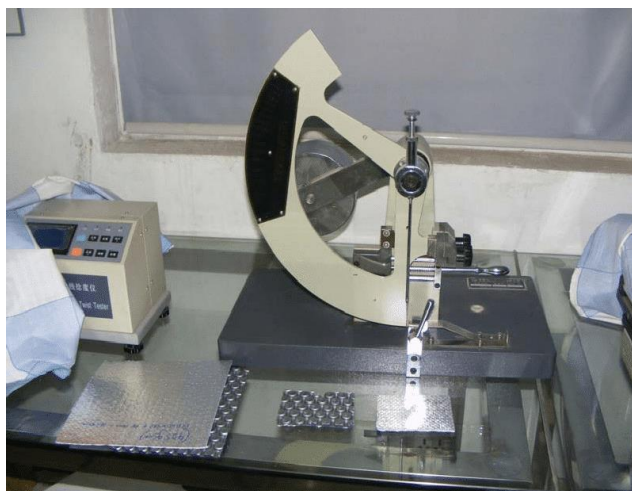


Рисунок 2.4 – Прибор для определения сопротивления раздиранию
ELMENDORF 09ED

Образцы для испытаний нарезали специальным ножом, размерами $45 \pm 1 \times 63 \pm 0,1$ мм.

Основным элементом аппарата (рис. 2.5) является качающийся маятник, который установлен на горизонтальной оси на станине в шарикоподшипниках.

При поднятии маятника на определенную высоту, он накапливает потенциальную энергию, равную произведению высоты поднятия на массу маятника. Когда маятник падает, его размах ограничивается сопротивлением, нужным для раздиранья бумаги. Это сопротивление приводит к уменьшению высоты подъема маятника на обратном ходе.

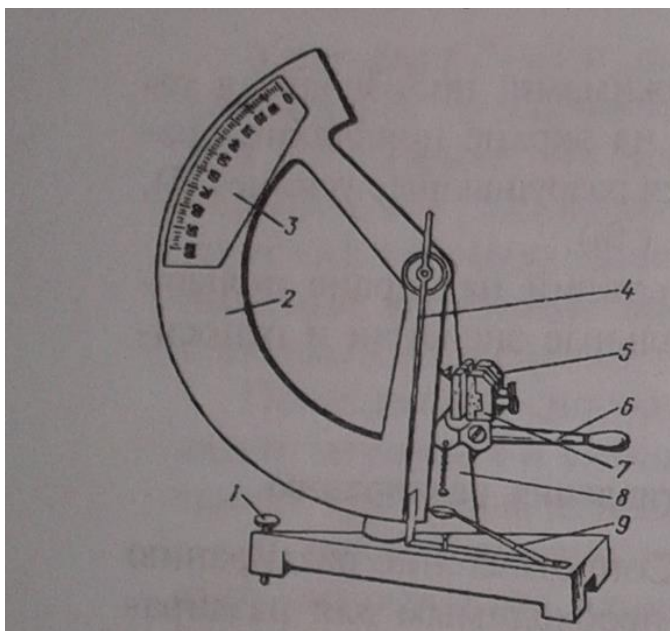


Рисунок 2.5 – Прибор для определения усилия раздиранию по методу Эльмендорфа:

1 – установочный винт; 2 – качающийся маятник; 3 – шкала с делениями; 4 – кольцо со стрелкой; 5 – неподвижный зажим; 6 – нож с ручкой; 7 – подвижный зажим; 8 – станина; 9 – пружина

Угол отклонения маятника после раздиранья характеризует необходимое для этого усилие. Аппарат оснащен двумя зажимами для фиксации образцов и пружиной, которая удерживает маятник перед испытанием и тормозит его после разрыва образца. Специальный нож используется для нарезания образцов. Пневмоцилиндр освобождает маятник, который разрывает образцы, и значения сопротивления раздиранию отображаются на экране. По завершении измерения маятник автоматически возвращается в исходное положение, и образцы освобождаются из клеммы.

2.4.11 Комплексные испытания на разрыв ЦБМ

Машина ТЕСТСИСТЕМА 101 относится к испытательному оборудованию и предназначена для определения деформационных и прочностных характеристик различных материалов при испытаниях на растяжение. Машина обеспечивает регистрацию изменения нагрузки и удлинения, выдачу информации о результатах испытаний на дисплей, математическую обработку результатов испытаний (рис. 2.6).

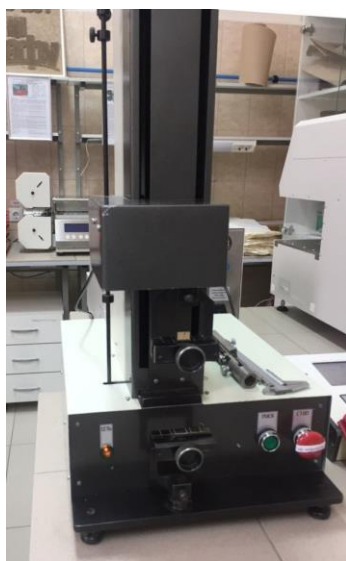


Рисунок 2.6 – Прибор ТЕСТСИСТЕМА 101 для проведения комплексных испытаний на разрыв

Для испытаний нарезали образцы шириной 15 мм. При определении показателей сопротивления разрыву анизотропных материалов испытывают по 5 образцов во взаимно перпендикулярных направлениях плюс один резервный образец.

2.4.12 Сопротивление продавливанию ЦБМ

Метод заключается в создании плавно нарастающего гидравлического давления, действующего через резиновую диафрагму на поверхность одной

стороны зажатого по кольцу образца, и определении значения давления, при котором образец разрушается (рис. 2.7). Испытания проводили согласно ГОСТ 2758-2017. Проводилось по десять измерений на каждой стороне.

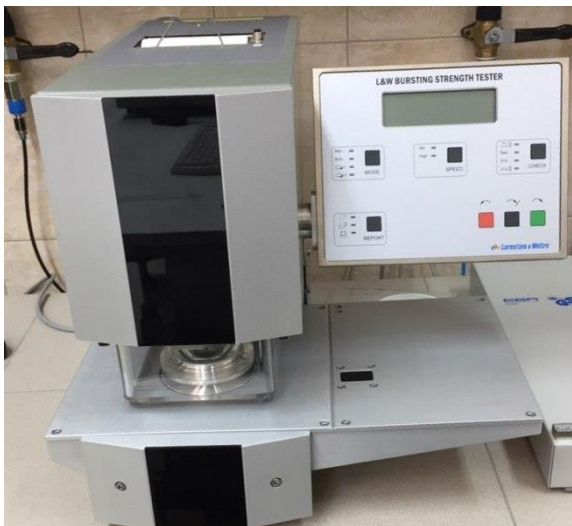


Рисунок 2.7 – Устройство для определения сопротивления продавливанию
SE 180/181 L&W

2.4.13 Краевой угол смачиваемости ЦБМ

Для измерения краевого угла с использованием прибора EASYDROP каплю жидкости наносили на образец, который размещался на подъемном столике. Капля подсвечивалась с одной стороны, а с другой стороны находилась видеокамера, фиксирующая изображение капли, как показано на рисунке 2.8.

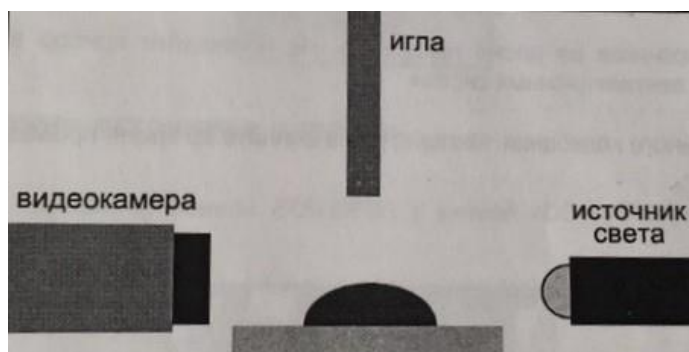


Рисунок 2.8 – Схематическое изображение установки EASYDROP

Изображение капли передается на компьютер, оснащенный платой захвата изображения и выдающий изображение на монитор. Программное обеспечение DSA1 имеет проверенные временем средства для анализа изображения капли, с помощью которых можно рассчитывать краевой угол, поверхностную энергию и поверхностное натяжение.

2.4.14 Воздухопроницаемость, шероховатость и пористость

Воздухопроницаемость измеряется пропусканием воздуха через материал под давлением с замером объема проходящего воздуха, что помогает оценить способность материала пропускать воздух. Пористость определяется вычислением процента объема пор в материале, что влияет на его способность задерживать частицы. Шероховатость анализируется с помощью приборов, фиксирующих микрорельеф поверхности, так как более грубая текстура способствует лучшему улавливанию частиц.

Испытуемый образец (бумажные фильтрующие материалы) зажимали между двумя круглыми прокладками (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Прибор для определений значений шероховатости, пористости и воздухопроницаемости бумажных фильтрующих материалов

Воздухопроницаемость нетканых полипропиленовых полотен определяли на приборе ВПТМ-4 (рис. 2.10) по ГОСТ Р ИСО 9237-99 при комнатной температуре.

Принцип действия прибора основан на разряжении воздуха в измерительном блоке при помощи насоса, перепад давления при прохождении воздуха через образец поддерживается постоянным и измеряется расход воздуха, проходящего через заданную площадь испытываемого материала за единицу времени.



Рисунок 2.10 – Оборудование для измерения воздухопроницаемости текстильных материалов ВПТМ-4

2.4.15 Исследование дзета-потенциала ЦБМ

Анализ электрокинетического потенциала волокон в водном растворе (ζ -потенциал твердых частиц) проводили на анализаторе заряда поверхности волокон Mutek SZP-06. Роспуск (диспергирование) фильтровальной бумаги перед анализом проводили на лабораторном дезинтеграторе в течение 10 мин при 1500 об/мин. Концентрация бумажных волокон в гидросуспензии составляла 1,5 %.

В стакан, установленный на резиновый диск под измерительной ячейкой, наливали 500 мл раствора обеззоленного фильтра «Красная лента» или «Синяя лента» с концентрацией 0,5 % по волокну. Затем запускали вакуум-насос. Для

предотвращения образования пузырьков раствор перемешивали стеклянной палочкой, после чего опускали измерительную ячейку в стакан и открывали регулирующий клапан. Спустя 1 минуту, когда волокна прекращали движение, проводили настройку вакуумной системы, после чего автоматически фиксировали значения дзетта-потенциала в течение 30 секунд.



Рисунок 2.11 – Анализатор дзетта-потенциала Mutek SZP-06

2.4.16 Определение чувствительности микроорганизмов к испытуемым полимерным нетканым материалам

Исследование образцов на стабильность к микроорганизмам проводилось по клиническим рекомендациям «Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам». Определение чувствительности микроорганизмов к данной пленке проводилось диско-диффузионным методом. Для этого на питательную среду – агар Мюллера-Хинтон (МХА) наносили суспензию (строго соответствующую плотности 0,5 по стандарту мутности МакФарланда) микроорганизмов *Staphylococcus aureus* (золотистый стафилококк) и *Staphylococcus epidermidis* (эпидермальный стафилококк). Бактериальную суспензию инокулировали на агар в течении 15 минут. Далее на поверхность агара помещали электретируемые и контрольные образцы нетканых полипропиленовых полотен. Условия инкубации: термостатирование при 37 °С, обычная атмосфера, 16 – 20 часов. Вся работа проходила в боксе, в стерильных

условиях, все инструменты для работы стерильные.

2.4.17 Проницаемость аэрозолей через полимерные нетканые материалы

Начальное падение давления ΔP измеряли с использованием чистого фильтра при номинальной скорости воздушного потока. Проницаемость для аэрозоля хлорида натрия DNaCl и масляного спрея Doil определялась по следующему уравнению:

$$D = \frac{Ci}{CN} \times 100 \%, \quad (2.2)$$

где Ci – содержание NaCl или масляного спрея в канале, расположенном после фильтра; CN – содержание NaCl или масляного спрея в канале, расположенном перед фильтром.

Фильтрующая способность материалов оценивалась по времени, затраченному на фильтрацию жидкости через исследуемые образцы. Эксперимент проводился следующим образом: сухие образцы помещали в фильтр Бюхнера (фильтрационный тигель), затем смачивали их дистиллированной водой и сушили в течение нескольких минут при работе вакуумного насоса. После этого фильтр заполняли наполовину 50 мл троллейного масла (1 %) и включали насос, чтобы жидкость начала поступать в приемную колбу Бунзена. По мере прохождения растворителя через фильтр, оставшийся объем жидкости доливали в тигель. После того как вся жидкость прошла через фильтрующий материал, вакуумный насос отключали.

Применяемые методы и проведенные эксперименты соответствуют современному уровню развития научного оборудования и полностью отвечают поставленным задачам исследования. Результаты экспериментов подтвердили эффективность выбранных подходов и достоверность полученных выводов.

III ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Главными требованиями, предъявляемыми к бумажным и полимерным фильтрующим материалам, являются качественная очистка жидкостей или газов от загрязнений и примесей, высокие показатели скорости фильтрации, а также высокая механическая прочность фильтрующих элементов.

Задерживающая способность фильтров находится в тесной зависимости от структурных свойств фильтрующих материалов, в частности, от размера сквозных пор. Известно, что обычная лабораторная фильтровальная бумага и обеззоленный фильтр «Черная лента» обладают крупнопористой, рыхлой структурой. «Синяя лента», напротив, обладает мелкопористой, очень плотной структурой, а «Красная лента» имеет среднюю плотность (рис. 3.1). Влияние плотности на задерживающую способность бумаги объясняется тем, что с увеличением данной характеристики возрастает протяженность пор, их извилистость и, как следствие, увеличение числа преград для улавливания твердых частиц, т.е. проявлением ситового эффекта. Этим и объясняются больший отсев и высокая тонкость фильтрации для образцов «Синей ленты» [134, 135].

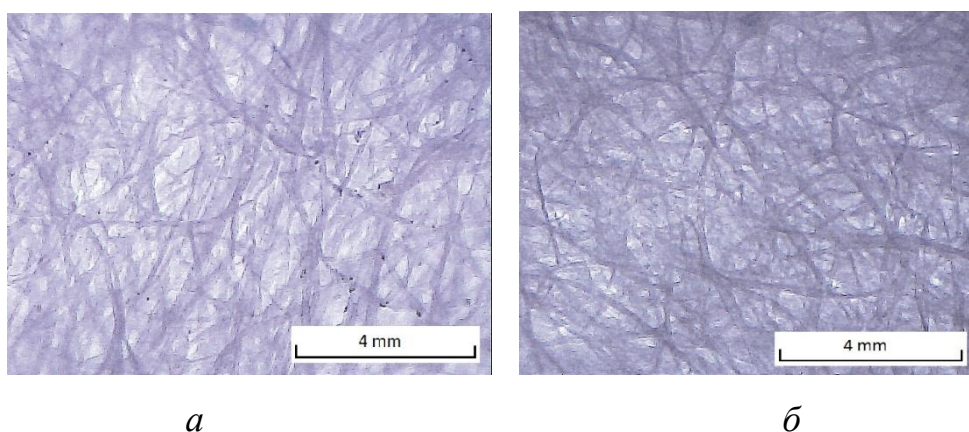


Рисунок 3.1 – Структура обеззоленных фильтров «Красная лента» (а),
«Синяя лента» (б)

Плотность нетканых полипропиленовых полотен существенно влияет на их эксплуатационные свойства. Полотна «Спанбонд» плотностью 17 г/м² и 20 г/м²

(рис. 3.2) имеют относительно грубую структуру с более крупными волокнами, обеспечивая высокую прочность и износостойкость, что делает их подходящими для использования в упаковке, медицинских и гигиенических изделиях. Повышение плотности до 20 г/м² увеличивает прочность и устойчивость к механическим повреждениям. В отличие от них, полотна «Мелтблаун» плотностью 25 г/м² обладают более тонкой структурой с мелкими и плотными волокнами, что придает им превосходные фильтрационные и барьерные свойства. Это делает их идеальными для применения в производстве фильтров, медицинских масок и защитной одежды, где необходима высокая эффективность фильтрации и защита от мелких частиц и аэрозолей.

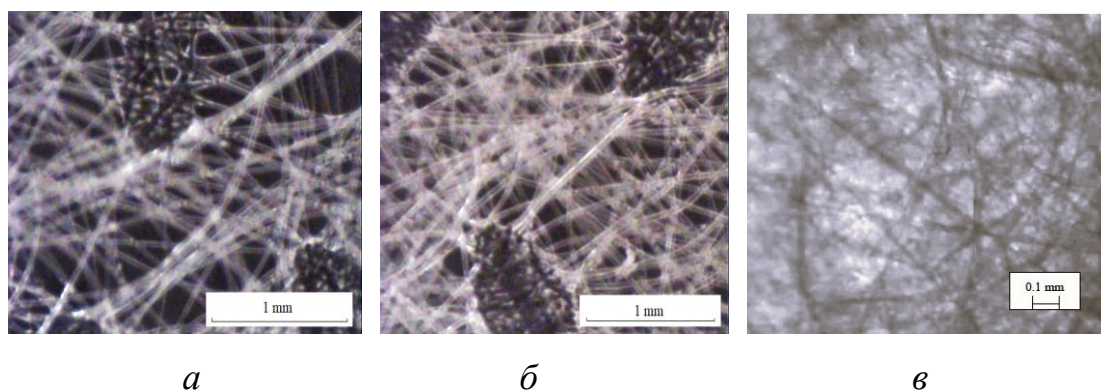


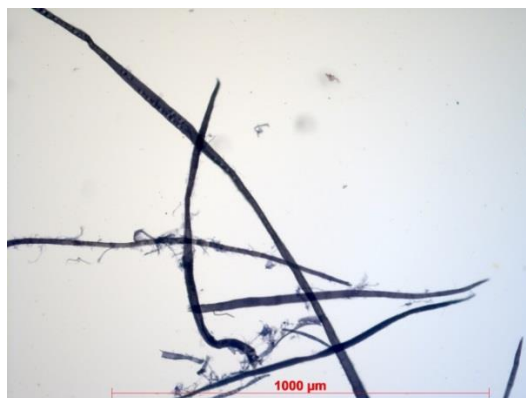
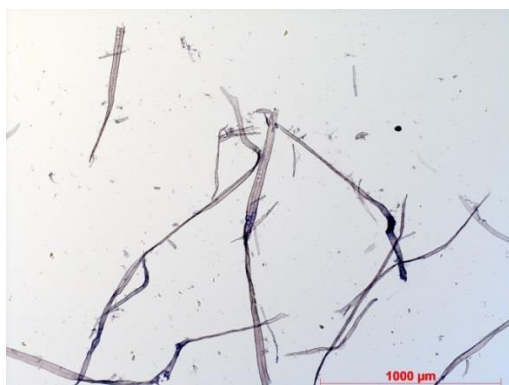
Рисунок 3.2 – Структура полипропиленовых нетканых полотен марок С17 (а), С20 (б), М25 (в)

Известно, что характеристики целлюлозно-бумажных материалов определяются типом волокна и методами их обработки. Именно эти факторы играют ключевую роль в обеспечении необходимых характеристик эксплуатации бумажных фильтров. В связи с этим дальнейшее исследование было направлено на изучение характеристик волокон, применяемых в изготовлении фильтровальных бумаг. Для этой цели проведены исследования с использованием средств электронной микроскопии и реактивов Херцберга и Граффа согласно ГОСТ 7500-85. Визуальное представление бумажных волокнистых материалов представлено на рисунке 3.3.

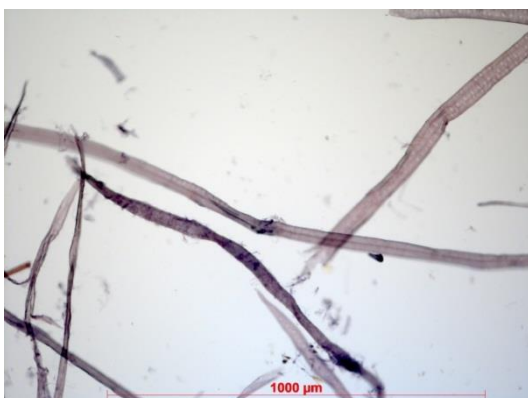
Реактив Графф С

Реактив Херцберга

а)



б)



в)



Рисунок 3.3 – Волокна фильтровальной бумаги после обработки реактивами Херцберга и Граффа: а) 1000 рт; б) 1000 рт; в) 500 рт

В ходе исследований было установлено, что состав волокон фильтровальной бумаги представлен смесью обесцвеченных сульфитных волокон хвойных пород древесины ели (или лиственницы), прошедших процесс измельчения. Вид целлюлозы оказывает значительное воздействие на свойства бумаги, такие как проницаемость для воздуха и сопротивление воздушному потоку. Улучшение

качества целлюлозы из древесины хвойных и лиственных пород, а также из хлопка, способствует увеличению общей пористости бумаги и повышению содержания крупных пор [9].

Важным показателем, характеризующим структуру бумаги и определяющим ее фильтрующую и впитывающую способность, является пористость бумаги. Пористость представляет собой отношение объема пор к общему объему.

Таблица 3.1 – Показатели пористости и воздухопроницаемости фильтровальных бумажных материалов

Наименование показателя	Наименование образцов			
	ФБ	СЛ	ЧЛ	КЛ
Пористость, мл/мин	2542	1412	3208	1799
Воздухопроницаемость по Гирлею, сек	5	8,8	4	7

По своей структуре бумага представляет собой лист, пронизанной сетью капиллярных пор. Из таблицы 3.1 видно, что для образцов фильтровальной лабораторной бумаги и «Черной ленты» пропускная способность на порядок выше, чем у образцов «Синей ленты» и «Красной ленты». Данные образцы имеют меньшую плотность, соответственно уменьшается показатель сопротивления потоку воздуха или жидкости. При увеличении плотности бумаги промежутки между волокнами, т.е. размеры сквозных пор, уменьшаются. Чем меньше размеры пор материала, тем меньше его пропускная способность.

Существует ряд способов улучшения свойств фильтровальных материалов. Большинство работ, которые ведутся в этой области, направлены на изменение состава фильтровальной бумаги или полимерных полотен [5, 136, 137].

Простым и удобным способом улучшения эксплуатационных характеристик фильтровальных материалов может стать их поверхностная обработка в поле постоянного коронного разряда [138, 139]. Известно, что данный метод благоприятно влияет на эффективность полимерных газовых фильтров.

Указанные положительные примеры послужили поводом для изучения

эксплуатационных свойств электретных фильтрующих материалов.

Поэтому следующий этап экспериментальных исследований был направлен на изучение эффективности обработки различных видов фильтров на бумажной и полипропиленовой основах действием униполярного коронного разряда [135, 140]. Сначала выяснили, насколько данные материалы способны воспринимать и удерживать заряд (табл. 3.2). По результатам испытания заметно, что фильтровальная бумага плохо электретируется, так как является достаточно пористым материалом, который имеет сквозную систему пор, позволяющих носителям заряда достигать нижнего электрода в процессе электретирования, «облетая» целлюлозные волокна бумаги.

Для повышения способности бумажных фильтров к электретированию был применён метод, включающий использование лавсановой подложки. Лавсановую подложку размещали между образцом и нижним электродом во время обработки в коронном разряде, что способствовало улучшению электретных свойств фильтрационного материала.

Таблица 3.2 – Электретные характеристики фильтровальных бумаг различных марок, обработанных в коронном разряде с использованием с лавсановой подложки

Название материала	Начальные значения			Через 5 суток хранения			Через 10 суток хранения		
	V _э , кВ	E, кВ/м	σ _{эф} , мкКл/ м ²	V _э , кВ	E, кВ/м	σ _{эф} , мкКл/ м ²	V _э , кВ	E, кВ/м	σ _{эф} , мкКл/ м ²
ФБ	0,12	7,4	0,06	0	0,2	0	0	0	0
СЛ	0,04	6,1	0,02	0	0	0	0	0	0
ЧЛ	0,06	3,6	0,03	0	0,2	0	0	0	0
КЛ	0.01	0.9	0	0	0,1	0	0	0,1	0

Спад заряда у фильтровальных материалов достаточно предсказуем. Известно, что поляризация полимерных диэлектриков в коронном разряде протекает за счет инжекции носителей зарядов в их объем и фиксации их различными

поверхностными и объемными ловушками. Спад заряда является результатом диффузии носителей заряда из объемных ловушек в приповерхностные и далее – их высвобождения. Скорость высвобождения во многом определяется величиной удельной объемной электрической проводимости материала, которая у полярных материалов, как целлюлоза, на порядок выше, чем у неполярных [141].

Полимерные нетканые фильтровальные материалы также имеют невысокие электретные свойства, но достаточные для практического применения. Отметим, что для их электретирования также использовалась лавсановая подложка (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Электретные характеристики нетканых полимерных материалов различных марок, поляризованных с использованием лавсановой подложки

Наименование материала	Начальное значение			Через 15 суток хранения			Через 30 суток хранения		
	V_z , кВ	E , кВ/м	$\sigma_{эф}$, мкКл/м ²	V_z , кВ	E , кВ/м	$\sigma_{эф}$, мкКл/м ²	V_z , кВ	E , кВ/м	$\sigma_{эф}$, мкКл/м ²
C17	0,03	2,3	0,03	0,02	1,6	0,06	0,02	0,5	0
C20	0,04	2,6	0,03	0,03	1,9	0,03	0,03	0,8	0,01
M25	0,16	9,8	0,08	0,1	6,7	0,06	0,1	6,31	0,05

Видно, что чем больше поверхностная плотность материала, тем выше величина и стабильность электретных характеристик [141]. Основной рост значений электретных характеристик связан с увеличением протяженности площади границы раздела фаз «полимер-воздух», которая выступает в качестве основного поставщика энергетических ловушек для инжектированных носителей зарядов. Увеличение количества ловушек инжектированных зарядов, несомненно, благоприятно сказывается на способности диэлектриков поляризоваться в поле коронного разряда [142, 143].

С первого дня и на протяжении четырех недель измерений значения V_z , E и $\sigma_{\text{эф}}$ снижались и уменьшились почти в 2 раза. Однако остаточный заряд в образцах сохраняется в течение нескольких месяцев. Снижение уровня свойств со временем обусловлено переносом заряда к ближайшей поверхности полимера и его релаксацией [144].

Таким образом, по результатам экспериментов было выявлено, что высокими электретыными свойствами обладают полимерные полотна с большей плотностью, что позволило бы эффективно их применять в качестве основной составляющей промышленных фильтров.

Безусловно, электретирование фильтровальных материалов влияет на их структуру.

Таблица 3.4 – Пористость и воздухопроницаемость фильтровальных бумажных материалов

Наименование показателя	Наименование образцов			
	ЭФБ	ЭСЛ	ЭЧЛ	ЭКЛ
Пористость, мл/мин	2661	1502	3266	2290
Воздухопроницаемость по Гирлею, сек	4,4	8	4	7

Увеличение пористости образцов при обработке в коронном разряде (табл. 3.1, 3.4) можно объяснить следующим образом. На примере обработки поверхности полимерных материалов в постоянном коронном разряде инициируются химические реакции в поверхностных слоях, сопровождающиеся процессами окисления, выделением озона. После такой активации поверхность полимера становится шероховатой. Применительно к бумаге также можно говорить о травлении ее поверхности, результатом которого является увеличение шероховатости поверхности. Например, значение шероховатости поверхности для образцов «Синяя лента» увеличилось с 2681 мл/мин до 3034 мл/мин (+13 %), а для образцов «Красная лента» с 2184 мл/мин до 2386 мл/мин (+9 %).

Увеличение шероховатости в свою очередь ведет к возрастанию удельной поверхности волокон в структуре бумаги [145, 146].

Испытания на определение воздухопроницаемости показали отсутствие влияния обработки фильтрующих материалов в коронном разряде на пропускание через них воздуха под давлением. Дело в том, что фильтровальные виды бумаги и картона, как правило, используют для очистки жидкостей, а не газов, так как пористая структура бумаги эффективней работает на улавливание частиц при пропускании через них различных жидкостей [145].

Если рассматривать нетканые полипропиленовые полотна в качестве фильтрующего материала, то возникает вопрос об изменении их воздухопроницаемости при электретировании. Незначительное снижение воздухопроницаемости на 1 % электретных полотен по сравнению с исходными материалами подтверждается данными литературы [147] и объясняется протеканием окислительных процессов, происходящих при обработке полипропилена в плазме коронного разряда [148]. Образование карбонильных, карбоксильных, гидроксильных и других кислородсодержащих групп в макромолекулах полипропилена изменяет селективную газопроницаемость полотен [147].

Таблица 3.5 – Показатель воздухопроницаемости нетканых полипропиленовых полотен

Наименование показателя	Наименование образцов	
	С20	ЭС20
Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \times \text{с}$	3840	3800

Повышение механической прочности фильтровальной бумаги не менее важный аспект, чем достижение высоких фильтрующих характеристик. Механическая прочность фильтровальной бумаги является решающим фактором, определяющим ее эксплуатационные свойства, как одного из компонентов фильтрующих установок. Поведение материалов при механическом воздействии

складывается из способности к деформированию. Поэтому следующий этап исследований был направлен на определение и изучение влияния электретиrowания на механические свойства целлюлозно-бумажных фильтровальных материалов.

Одним из важных технических параметров, определяющих механическую прочность фильтровальной бумаги, является сопротивление продавливанию (рис. 3.4).

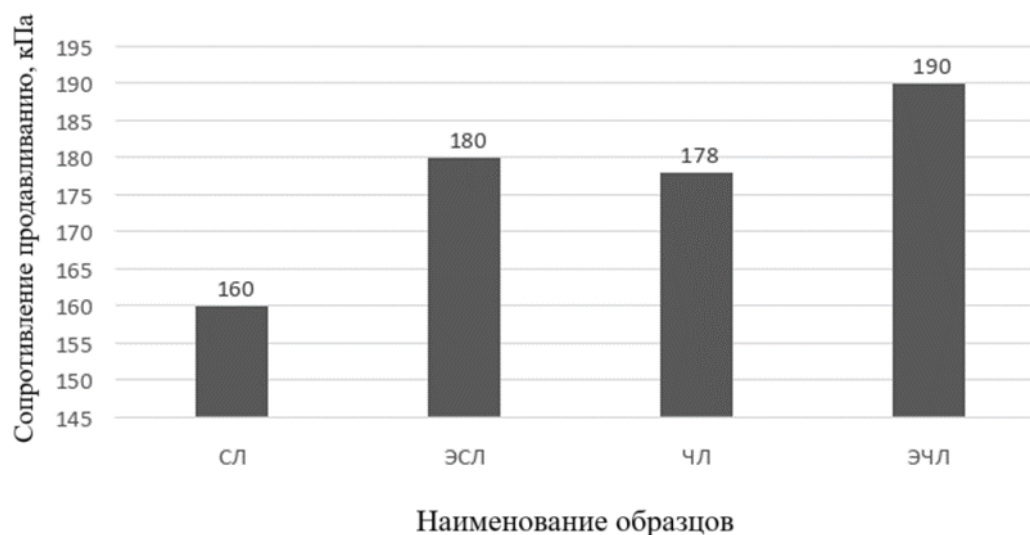


Рисунок 3.4 – Сопротивление продавливанию исходных и электретиrowанных бумажных фильтровальных материалов

Очевидно, что обработка в коронном разряде способствует увеличению сопротивления продавливанию для обеззоленных фильтров: на 13 % для фильтров «Синяя лента» и на 7 % для фильтров «Черная лента». Ранее было сказано, что фильтровальная бумага обладает высокоразвитой пористой структурой, которая характеризуется малыми силами связи между элементами структуры. Анализ литературы показал, что при воздействии коронного разряда, а также под действием поля осаждаемых на поверхность носителей зарядов, может происходить ориентация диполей и дипольных группировок полимера [99]. Это позволяет предположить, что воздействие электрического поля способствует взаимному сближению фибрилл в структуре волокон листа, уменьшению межволоконного пространства и приданию более выраженного ориентированного

состояния волокон [149]. Другими словами, электретиrowание фильтровальной бумаги способствует усилению сил электростатических связей между волокнами. Конечно, прочность бумажного листа во многом обеспечивается за счет действия водородных связей между волокнами целлюлозы, однако влияние электростатических связей также является существенным [137].

Можно также предположить еще один механизм повышения уровня межволоконного взаимодействия. В процессе действия униполярного коронного разряда происходит инжекция носителей зарядов в объем бумажного материала, которые концентрируются на поверхности структурных элементов (волокон, наполнителей и др.). Образование гетерозаряда за счет ориентации полярных группировок целлюлозы, сегментов макромолекул во время электретиrowания, инжекция носителей заряда внутрь волокна ведет к тому, что поверхность волокон приобретает заряд. На границах их контакта друг с другом и другими компонентами бумажного листа значительно усиливается двойной электрический слой, благодаря чему происходит упрочнение бумаги [150].

Это должно сопровождаться возрастанием ζ -потенциала волокон обеззоленных фильтров при электретиrowании [156, 157]. Результаты измерения дзета-потенциала волокон образцов представлены на рисунке 3.5.

Сравнивая результаты для исходных и электретиrowанных обеззоленных фильтров, видим, что значение ζ -потенциала волокон ЭСЛ больше на 18 %, чем для волокон СЛ, что подтверждает сделанное предположение [134, 153].

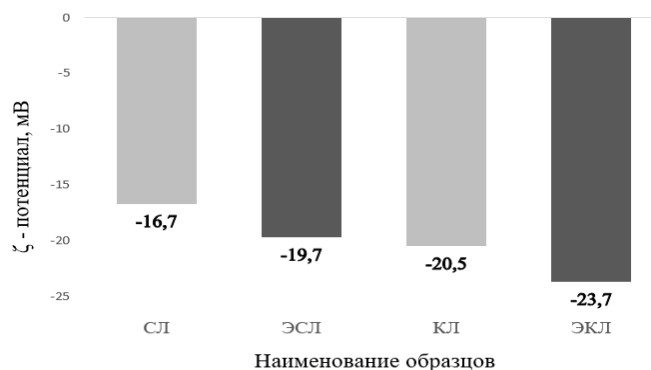


Рисунок 3.5 – ζ -потенциал волокон бумажных обеззоленных фильтров

Другим методом, характеризующим механическую прочность фильтровальной бумаги, является комплексное испытание на разрыв. Данные по определению комплекса механических свойств при растяжении фильтровальной бумаги на разрывной машине представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Механические свойства исходных и электретируемых бумажных фильтровальных материалов

Наименование показателя	Наименование материала и направления приложения нагрузки							
	СЛ		ЭСЛ		ЧЛ		ЭЧЛ	
	МН	ПН	МН	ПН	МН	ПН	МН	ПН
Напряжение при разрушении, МПа	8,7	3,2	9,1	3,4	8,5	3,6	9	4
Изменения показателя, %	-	-	+2,2	+3	-	-	+2,8	+5,3
Разрывная длина, м	5411	2857	5464	2869	5234	3203	5362	3254
Изменения показателя, %	-	-	+0,5	+0,2	-	-	+1,2	+0,8

Из результатов, представленных в таблице 3.6, видно, что прочность на разрыв бумаги в машинном направлении значительно больше, чем в поперечном направлении. Это широко известно и объясняется преимущественной ориентацией волокон бумаги в указанном направлении при изготовлении бумаги на бумагоделательной машине, так как сопротивление бумаги разрыву находится в тесной зависимости от ориентации волокон в бумаге [137]. Обработка бумажных фильтров в постоянном коронном разряде приводит к небольшому возрастанию механических свойств на 0,2 – 1,2 % [134, 135, 151, 152]. Безусловно, изменение свойств нельзя назвать значительным, оно находится на грани экспериментальной погрешности. Тем не менее, заметно, что все параметры бумажных фильтров демонстрируют тенденцию к увеличению при электретировании, что позволяет сделать общий вывод о положительном влиянии этой обработки на механические

свойства материала [153].

Доказательством возрастания уровня межволоконных связей в структуре листа при воздействии коронного разряда могут служить результаты испытаний на сопротивление раздиранию по методу Эльмендорфа (табл. 3.7).

Таблица 3.7 – Результаты испытания на определение сопротивления раздиранию

Наименование образцов	Сопротивление раздиранию (Метод Эльмендорфа), мН	
	МН	ПН
ФБ	1067	1197
ЭФБ	994	1132
ЧЛ	1304	1369
ЭЧЛ	1231	1283

Уменьшение сопротивления раздиранию в обоих направлениях листа при электретировании можно объяснить тем, что усиленные при электретировании связи между волокнами способствуют их прочному удержанию в структуре листа. Под воздействием раздирающих нагрузок происходит разрыв волокон, а не их полное выдергивание [149, 150, 154]. Согласно теории Ванн ден Аккера [137], энергия, затрачиваемая на разрыв волокон, значительно меньше энергии, необходимой для их вытягивания из листа бумаги.

Кроме того, инжектированные носители заряда могут вызывать деструктивные процессы в целлюлозных волокнах, аналогичные тем, что происходят при обработке полимеров коронным разрядом. Считается [155], что деструкция целлюлозы происходит, главным образом, из-за разрыва 1,4-ацетальной связи с образованием карбоксильных групп.

Разделительная и фильтрующая способности целлюлозно-бумажных фильтровальных материалов находятся в тесной зависимости от их сорбционных свойств. Поэтому следующий этап исследований был направлен на изучение характера взаимодействия жидкостей и фильтрующих материалов.

Одним из самых информативных методов изучения взаимодействия твердых

и жидких тел является метод определения краевого угла смачивания.

Краевым углом обозначается угол, который образует капля жидкости на поверхности твердого вещества к данной поверхности. Смачивание зависит от соотношения между силами сцепления молекул жидкости (в нашем случае – воды) с молекулами твердого тела (бумаги) и силами взаимного сцепления молекул жидкости.

Из результатов исследований наглядно видно, что фильтровальная бумага благодаря своей полярной природе и пористой структуре активно притягивает к себе молекулы воды. Большой угол смачивания водой (на 37 %) фильтровального материала «Синяя лента» (рис. 3.6) по сравнению с «Черной лентой» (рис. 3.7) связан с повышенной степенью обработки поверхности материала кислотами при его изготовлении и, как следствие, с более высоким уровнем межмолекулярного взаимодействия с молекулами воды [145].

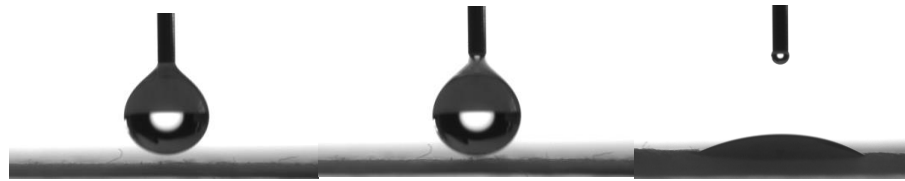


Рисунок 3.6 – Определение краевого угла смачивания незэлектретированного образца «Синяя лента»

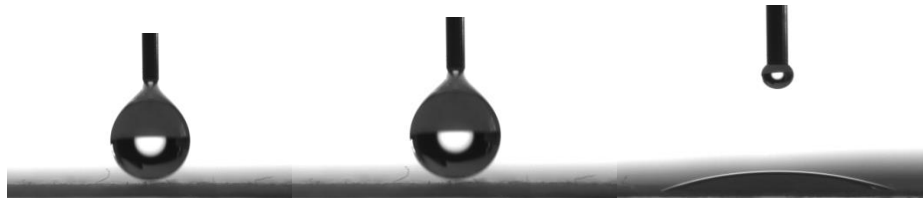


Рисунок 3.7 – Определение краевого угла смачивания незэлектретированного образца «Черная лента»

Уменьшение краевого угла образцов при электретировании (рис. 3.8, 3.9, 3.10) целлюлозно-бумажных фильтров можно объяснить протеканием физико-

химических и механических процессов в структуре бумаги под действием постоянного коронного разряда.



Рисунок 3.8 – Определение краевого угла смачивания электретирированного образца «Синяя лента»



Рисунок 3.9 – Определение краевого угла смачивания электретирированного образца «Черная лента»

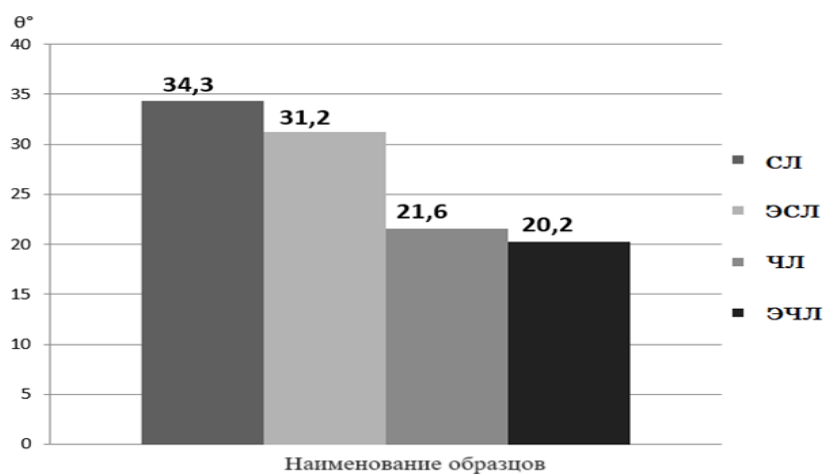


Рисунок 3.10 – Краевой угол смачивания бумажных фильтровальных материалов водой

Как упоминалось ранее, обработка бумаги в коронном разряде приводит к увеличению шероховатости поверхности волокон. Дополнительным

доказательством данных суждений может служить увеличение смачиваемости поверхности бумаги. Кроме того, увеличение количества активных групп на поверхности бумаги после коронной обработки облегчает образование водородных связей с полярными молекулами воды, что приводит к ее сравнительно быстрому растеканию [145, 158].

Результаты по определению поверхностной впитываемости капельным способом также подтвердили предположения о влиянии заряда поверхности электретирированных образцов на скорость впитывания жидкости (рис. 3.11, 3.12).

Фильтровальную бумагу относят к классу материалов с высокой впитывающей способностью.

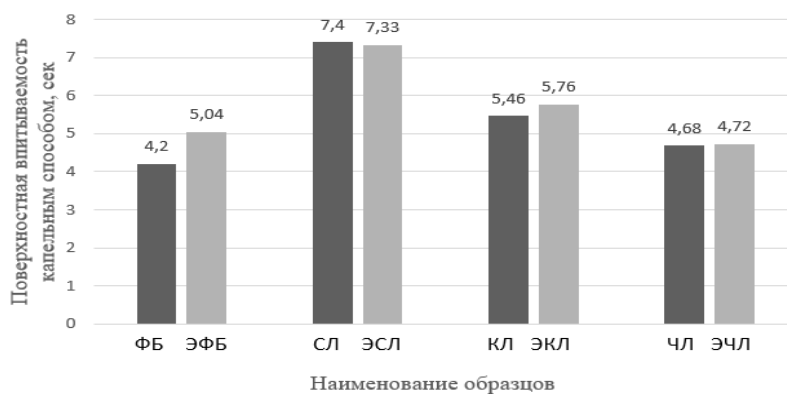


Рисунок 3.11 – Поверхностная впитываемость бумажных фильтровальных материалов, определенная капельным способом (лицевая сторона)

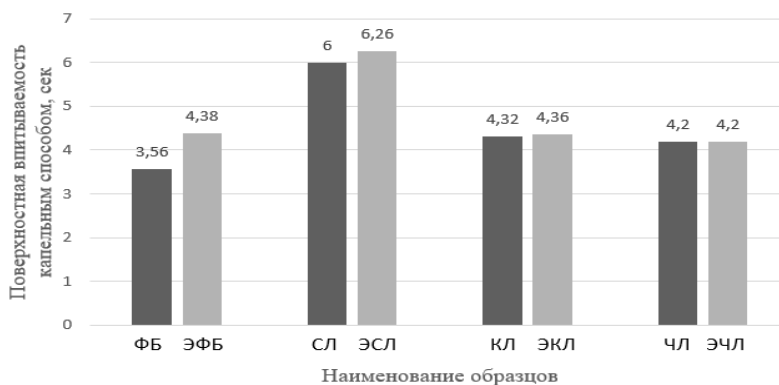


Рисунок 3.12 – Поверхностная впитываемость бумажных фильтровальных материалов, определенная капельным способом (сеточная сторона)

При попадании воды на поверхность бумаги происходит ее интенсивное проникновение сквозь толщу. Однако если сравнивать результаты для лабораторной фильтровальной бумаги и обеззоленных фильтров видно, что через структуру обеззоленных фильтров вода проходит намного медленней, что также связано с изменениями, происходящими с бумагой при их производстве в результате пропитки кислотами с целью обеспечения необходимого уровня зольности.

Повышенное впитывание с лицевой стороны по сравнению с сеточной объясняется большей активацией поверхности при обработке коронным разрядом и увеличением гидрофильности этой стороны. Незначительное увеличение времени впитываемости образцов при обработке в коронном разряде может быть объяснено экранированием заряда молекулами воды, ослаблением потенциала поверхности, активном смачивании и прохождении воды сквозь толщу листа бумаги [130].

Качество фильтрующих материалов во многом базируется на их способности очищать фильтраты. Эффективность полимерных и бумажных электретенных фильтровальных материалов по обеспечению чистоты фильтрата была изучена при определении разделительной способности фильтрующих материалов (рис. 3.13).

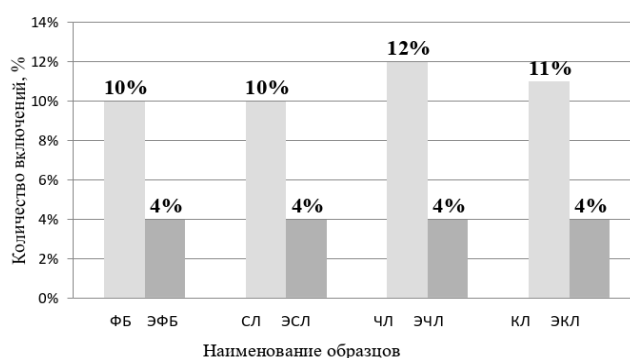


Рисунок 3.13 – Разделительная способность исходной бумаги и бумаги, обработанной в коронном разряде

Электрети́рование образцов привело к уменьшению количества частиц в фильтрате почти в два раза. Осаждение частиц на заряженных образцах

фильтровальной бумаги происходит из-за притягивания нейтральных частиц включений электростатическими силами заряженных волокон бумаги. При этом возможность распространения электрического поля фильтрующего материала на относительно большие расстояния от его поверхности позволяет увеличить эффективность его работы [135].

Эффективность полимерных электретных фильтров по обеспечению чистоты фильтрата также была показана при определении разделительной способности фильтрующих материалов (рис. 3.14).

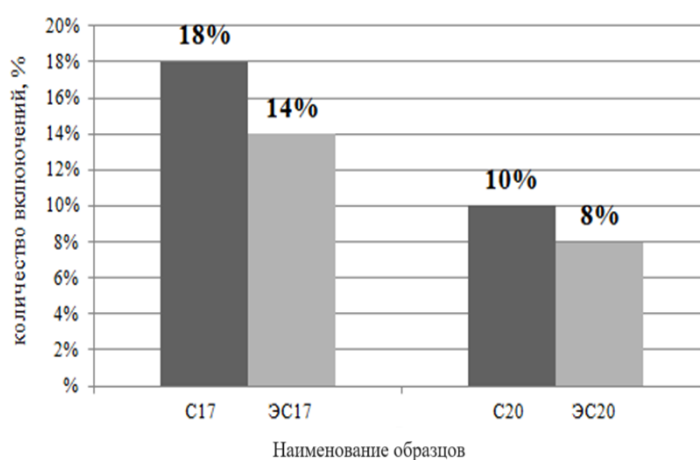


Рисунок 3.14 – Разделительная способность нетканых полипропиленовых полотен, полученных методом «Спанбонд» плотностью 17 и 20 г/м² и электретов на их основе

Плотность полотен влияет на их задерживающую способность: при увеличении плотности с 17 до 20 г/м², разделительная способность как обычных, так и электретных полипропиленовых полотен увеличивается в 1,75 – 1,8 раз (снижение количества частиц в фильтрате свидетельствует о повышении разделительной способности фильтроматериалов). Это объясняется ростом числа и протяженности волокон (содержание волокон увеличивается почти на 17,5 %), т.е. увеличением преград для твердых частиц.

Придание нетканым полотнам электретного состояния привело к уменьшению количества частиц в фильтрате в среднем на 20 – 22 % по сравнению с первичными

образцами (рис. 3.14), что также объясняется притяжением твердых частиц заряженными волокнами [159-161].

Высокие показатели барьерных свойств фильтровальных материалов являются одними из решающих факторов при их выборе, поэтому для оценки потенциальной возможности применения изучаемых материалов было проведено испытание по определению их фильтрующей способности.

Результаты изменения времени фильтрации для бумажных образцов представлены на рисунке 3.15.

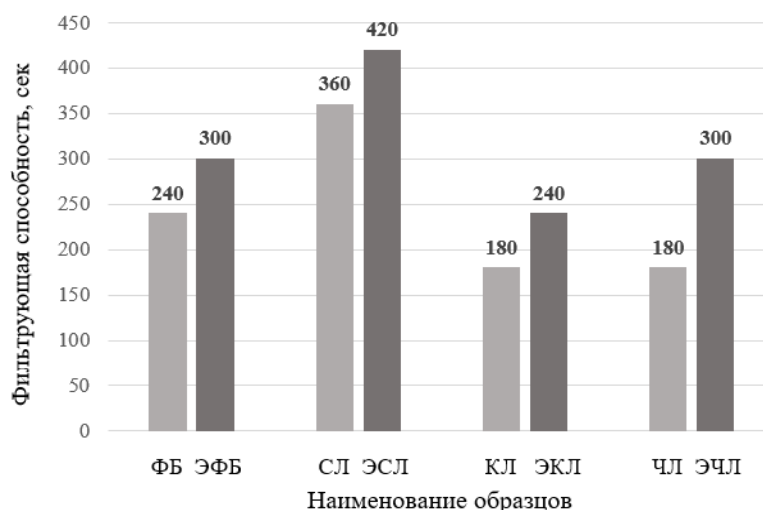


Рисунок 3.15 – Скорость фильтрации исходной фильтровальной бумаги и бумаги, обработанной в коронном разряде

Высокую фильтрующую способность фильтровальных бумаг обеспечивает их развитая пористая структура, которая обеспечивает глубинный характер удержания посторонних частиц из фильтруемых жидкостей. Течение жидкости через пористую среду происходит по сообщающимся между собой порам. Увеличенное время фильтрации через образцы «Синей ленты» объясняется мелкопористой, извилистой структурой материала. Соответственно для преодоления порового пространства потребуется больше времени.

Из рисунка 3.15 видно, что придание образцам электретного состояния способствует увеличению времени прохождения фильтрата через фильтры в

среднем в 1,5 раза. Данное явление объясняется влиянием поля электрета на протекание диффузионных процессов. Дело в том, что поляризационный заряд создает энергетический барьер, влияющий на прохождение фильтрата через объем бумаги [134, 135, 162].

Результаты изменения времени фильтрации для полимерных образцов представлены на рисунке 3.16.

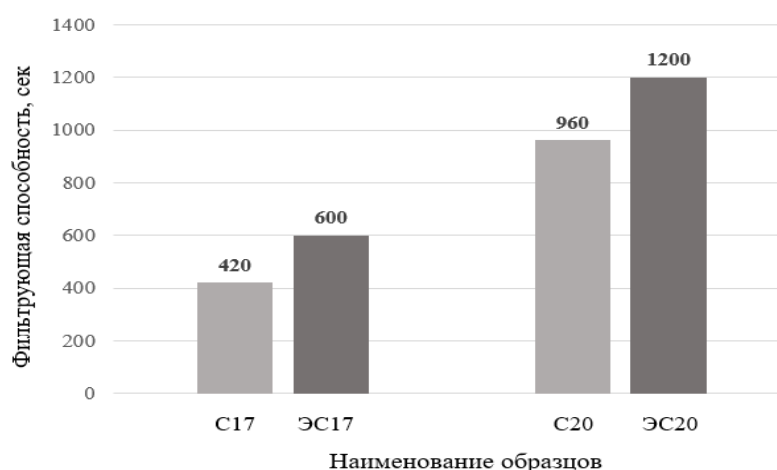


Рисунок 3.16 – Фильтрующая способность нетканых полипропиленовых полотен, полученных методом «Спанбонд» плотностью 17 и 20 г/м² и электретов на их основе

Время фильтрации после придания образцам электретного состояния увеличивается почти в 1,3 раза (рис. 3.16).

Данное явление объясняется тем, что при протекании жидкости через поры материала значительное влияние оказывают электрофизические факторы. Особая роль отводится действию электретного заряда. Поляризационный заряд создает энергетический барьер, влияющий на прохождение фильтрата через полимерные нетканые полотна. Изменение скорости массопереноса объясняется следующим образом. Коэффициент диффузии диэлектрических жидкостей обратно пропорционален динамической вязкости, а вязкость, в свою очередь, возрастает в электрическом поле, следовательно, действие электрического поля приводит к уменьшению коэффициента диффузии [147, 159-161, 163, 164, 165].

По ряду характеристик бумажным фильтрам нет равных, например, цена, скорость фильтрации и т.д. Но не всегда качество фильтрата после прохождения через бумажные фильтрующие установки удовлетворяет ожидания изготовителей, так как волокна бумажных фильтров отделяются и попадают в продукт. Для того, чтобы предотвратить указанные недостатки можно предложить использовать дополнительный полимерный слой.

Поэтому было необходимо проверить фильтрующую и разделительную способность двухслойного материала, состоящего из слоя обеззоленного бумажного фильтра «Красная лента» с неткаными полотнами, полученными методом «Спанбонд» плотностью 17 и 20 г/м².

Эффективность двойного материала «бумажный фильтр – полипропиленовое полотно» по обеспечению чистоты фильтрата при определении разделительной способности фильтрующих материалов и скорости фильтрации показана на рисунке 3.17.

Придание электретного состояния нетканым полотнам и обеззоленным бумажным фильтрам привело к уменьшению количества частиц в фильтрате в среднем на 33 – 40 % по сравнению с исходными образцами (рис. 3.17а), при этом время фильтрации после придания образцам электретного состояния увеличивается в 1,3 раза (рис. 3.17б) [159].

Исследование показало, что двуслойный фильтрующий материал, состоящий из обеззоленного фильтра «Красная лента» и нетканого полипропиленового полотна «Спанбонд», демонстрирует синергетический эффект после придания им электретного эффекта. Суть этого синергетического эффекта заключается в том, что комбинированное использование двух материалов с разными свойствами обеспечивает значительно более высокую эффективность фильтрации, чем каждый из материалов по отдельности. Обеззоленный фильтр «Красная лента» обладает высокой сорбционной способностью, а полипропиленовый нетканый материал – превосходными механическими свойствами и стабильностью структуры. В совокупности с электретным эффектом эти материалы создают усиленное электростатическое поле, которое повышает количество удерживаемых

мелкодисперсных частиц, что приводит к повышению общей эффективности фильтра и улучшению его эксплуатационных характеристик. Однако, электретирующие позволяет достигнуть подобного эффекта и в отдельности для бумажных и полипропиленовых фильтровальных материалов.

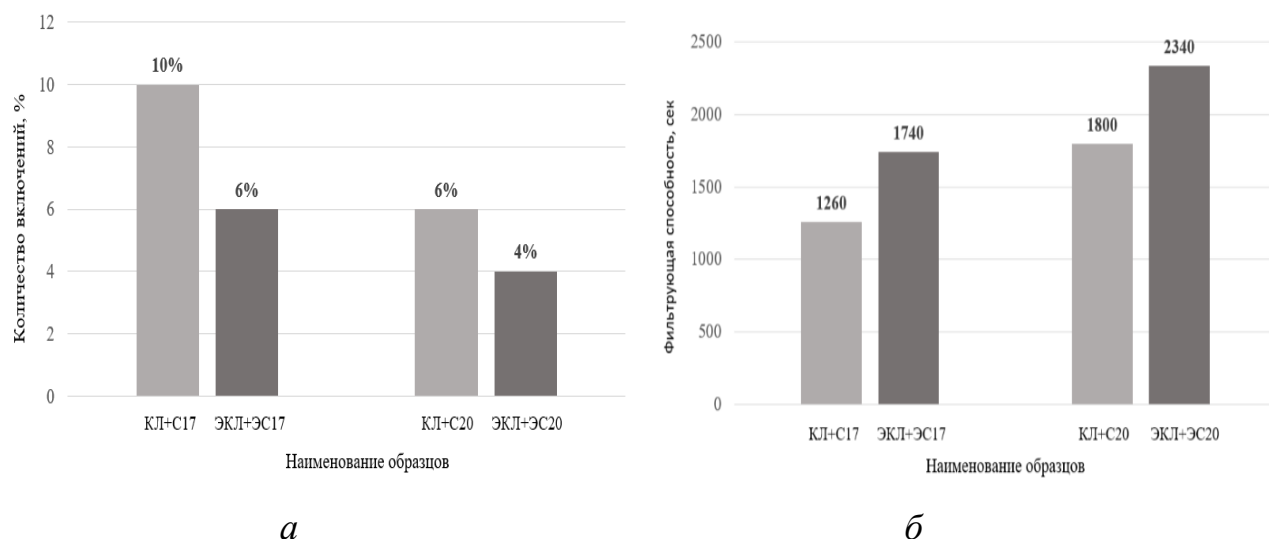


Рисунок 3.17 – Разделительная способность (а) и фильтрующая способность (б) нетканых полипропиленовых полотен, полученных методом «Спанбонд» плотностью 17 и 20 г/м², обеззоленного фильтра «Красная лента» и электретов на их основе

3.1 Практическое применение фильтровальных материалов

3.1.1 Фильтрующая способность обеззоленных фильтров водно-нефтяной эмульсии

Была проведена оценка возможности использования различных фильтровальных материалов для очистки водонефтяной эмульсии.

Результаты по определению фильтрующей способности обеззоленных фильтров водно-нефтяной эмульсии показаны на рисунке 3.18.

Воздействие коронного разряда способствует увеличению производительности фильтров. Как уже говорилось ранее, поляризационный заряд

создает энергетический барьер, влияющий на прохождение фильтрата через бумажные фильтры [166].

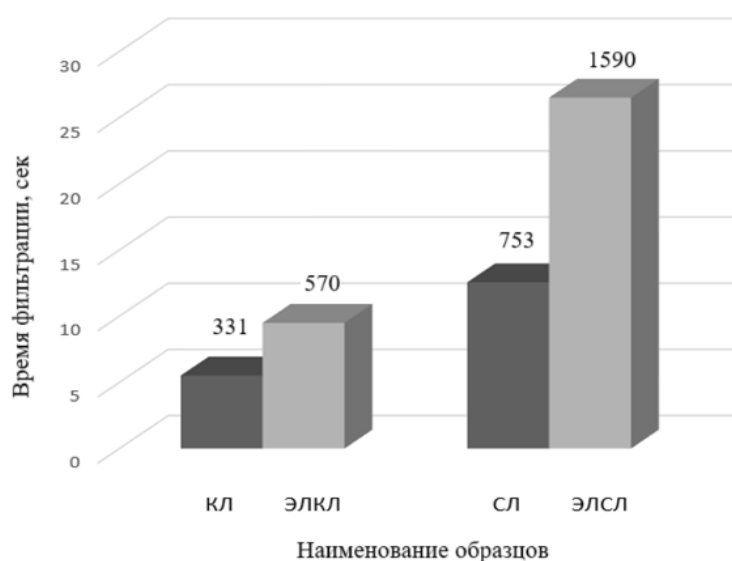


Рисунок 3.18 – Фильтрующая способность водно-нефтяной эмульсии обеззоленных фильтров «Красная лента» и «Синяя лента» и электретов на их основе

Результаты по определению разделительной способности обеззоленных фильтров водно-нефтяной эмульсии показаны в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Значения ХПК фильтратов, полученных при разделении водомасляной эмульсии обеззоленными фильтрами и электретами на их основе

Образец	Исходная эмульсия	КЛ	ЭКЛ	СЛ	ЭСЛ
Значения ХПК, мгО/дм ³	13000	6000	4000	4000	3000

Анализ данных, представленных в таблице, показывает увеличение эффективности разделения эмульсии типа «нефть в воде» девонского отложения в результате коронной обработки на 25 % (СЛ) и 33 % (КЛ). Данное испытание также подтверждает ранее доказанное благоприятное влияние коронного разряда на

работу бумажных фильтров [166].

3.1.2. Разделительная и фильтрующая способность нетканых полипропиленовых материалов различных газовых сред

Следующим важным исследованием было определение барьерных свойств нетканых полипропиленовых полотен, полученных методом «Мелтблаун» плотностью 25 г/м² и электретов на их основе.

Результаты исследований фильтрующей способности показывают, что электретные полипропиленовые полотна имеют значительно меньшую проницаемость аэрозоля хлорида натрия D_{NaCl} и масляного спрея D_{oil} , в сравнении с исходными образцами при том же показателе сопротивления воздуха (табл. 3.9).

Таблица 3.9 – Разделительная способность нетканых полипропиленовых полотен, полученных методом «Мелтблаун» плотностью 25 г/м² и электретов на их основе

Образец	Аэродинамическое сопротивление, Па	Коэффициент проникания D_{NaCl} , %	Коэффициент проникания D_{oil} , %
M25	69	7,66	11,07
ЭМ25	65	0,73	1,50

Этот результат объясняется также особенностью работы электретных фильтров: способностью притягивать нейтральные частицы за счет электрических сил заряженных волокон. Это позволяет повысить эффективность работы фильтрующего материала [167, 168].

В ходе оценки фильтрующей способности установлено, что образцы нетканых полипропиленовых полотен, поляризованные в коронном разряде, имеют меньшую скорость фильтрации, чем неполяризованные (рис. 3.19).

Как уже отмечалось выше, такая разница может быть связана с тем, что униполярный коронный заряд материалов приводит к образованию энергетического барьера. Для его преодоления расходуется движущая сила потока

жидкости через волокнистый материал. Поляризационный заряд влияет на процессы смачивания, абсорбции и диффузии [163, 164], которые всегда происходят в процессе фильтрации через нетканые материалы из полипропилена [167].

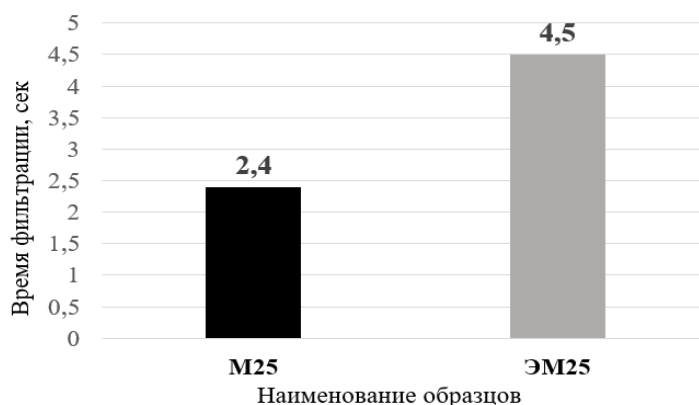


Рисунок 3.19 – Фильтрующая способность нетканых полипропиленовых полотен, полученных методом «Мелтблаун» плотностью 25 г/м² и электретов на их основе

3.1.3 Микробиологические исследования полипропиленовых нетканых материалов

Полипропиленовые нетканые материалы часто используются для изготовления медицинских одноразовых масок. Их задача – исключить распространение болезнетворных микробов при дыхании человека. Известно, что на развитие микроорганизмов заметное влияние оказывает напряжение электромагнитных полей, которые и определяют протекание многих биологических процессов [171-173]. Данный факт позволяет нам предположить, что создаваемый на поверхности полотен поляризационный заряд также может оказывать влияние на развитие микроорганизмов. При зарядении полотен в поле коронного разряда происходит бомбардировка отрицательно заряженными частицами поверхности обрабатываемого материала. При этом ионы могут быть захвачены на глубине нескольких молекулярных слоев от поверхности за счет работы как объемных, так и поверхностных ловушек, что и приводит к

образованию поляризационного заряда. Проявление кулоновских и электростатических сил может способствовать угнетению функции микроорганизмов и подавление роста их развития.

Влияние электретоного эффекта на развитие различных микроорганизмов (одноклеточных организмов – бактерий) было изучено на примере определения чувствительности микроорганизмов к обработанным в коронном разряде образцам нетканых материалов. Выбор культур, на которых проводились испытания, был основан на анализе микроорганизмов, которые в большой степени населяют микрофлору верхних дыхательных путей [169]. Результаты испытаний представлены в табл. 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты испытаний на определение чувствительности микроорганизмов к волокнистым нетканым материалам

№ п/п	Наименование образца	Наименование культуры	Результат испытаний
1	C20	Staphylococcus aureus (золотистый стафилакокк)	Без изменений
	ЭС20		<i>Бактериостатическое</i>
2	C20	Staphylococcus epidermidis (эпидермальный стафилакокк)	Без изменений
	ЭС20		<i>Бактериостатическое</i>
3	C20	Haemophilus influenzae (гемофильная палочка)	Без изменений
	ЭС20		<i>Бактериостатическое</i>
4	C20	Haemophilus parainfluenzae (гемофиллюс)	Без изменений
	ЭС20		<i>Бактериостатическое</i>
5	C20	Streptococcus pyogenes (стрептококк пиогенный)	Без изменений
	ЭС20		<i>Бактериостатическое</i>
6	M25	Streptococcus viridians (стрептококк пиогенный)	Без изменений
	ЭМ25		<i>Бактериостатическое</i>
7	M25	Enterococcus faecalis (энтерококк фекальный)	Без изменений
	ЭМ25		<i>Бактериостатическое</i>
8	M25	Enterococcus faecium (энтерококк фэциум)	Без изменений
	ЭМ25		<i>Бактериостатическое</i>
9	C20	Escherichia coli (кишечная палочка)	<i>Без изменений</i>

Продолжение таблицы 3.10

	ЭС20		Без изменений
10	C20	Klebsiella pneumoniae (клебсиелла пневмонии, палочка Фридлендера)	Без изменений
	ЭС20		Без изменений
11	C20	Klebsiella oxytoca (клебсиелла окситока)	Без изменений
	ЭС20		Без изменений
12	C20	Pseudomonas aeruginosa (синегнойная палочка)	Без изменений
	ЭС20		Без изменений
	M25		Без изменений
	ЭМ25		Без изменений

Из результатов, представленных в табл. 3.10, видно, что образцы нетканых полотен без обработки не проявили чувствительности к развитию и росту микроорганизмов. При испытании электретенных образцов на ряде культур было отмечено проявление бактериостатического эффекта, что означает наступление полного или частичного угнетения роста и задерживания развития микроорганизмов. В том числе, возможна гибель микроорганизмов [170, 171].

Видно, что электретенный эффект проявляет избирательную активность в отношении микроорганизмов, действуя только на конкретные структуры, и не действуя на клетки других организмов. Избирательная активность была проявлена на культурах рода стафилококков, стрептококков и т.д. Все эти виды бактерий объединяет то, что они заселяют кожные покровы, ротовую полость, зев и органы дыхания человека. Для бактерий рода стафилококка характерен воздушно-пылевой и воздушно-капельный путь заражения, для бактерий рода стрептококков – воздушно-капельный, для бактерий рода гемофилюсов – воздушно-капельный.

Для бактерий, которые остались устойчивы к действию электретенного эффекта характерно то, что они, как правило, преобладают и размножаются в желудочно-кишечном тракте, мочеполовой системе и в меньшем количестве на слизистой оболочке дыхательных путей человека [169]. Следовательно, вероятность их распространения через ингаляционный путь минимален.

Таким образом, проявление электростатических сил на поверхности

нетканых полотен позволяет повышать активность по увеличению барьерных характеристик полотен при прохождении и размножении микроорганизмов различных культур и, тем самым, повышать защитные функции фильтрационного барьерного материала. Электростатические силы образуют некий «атакующий» комплекс и оказывают влияние на микроорганизмы, замедляя их дальнейший биологический рост и жизнедеятельность.

Отсутствие воздействия коронного разряда на ряд микроорганизмов (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa*) можно объяснить за счет их строения. Микроорганизмы, на которых был проявлен бактериостатический эффект имеют одно сходство – они являются грамположительными. Грамположительные и грамотрицательные бактерии – это бактерии, клетки которых не окрашиваются или окрашиваются по методу Грама. Способность или неспособность бактерий к окрашиванию по Граму обусловлена строением их клеточной стенки. У грамотрицательных бактерий имеется внешняя защитная мембрана [174]. Получается, что грамотрицательные бактерии имеют двойную защитную экранировку, изолирующую клеточную стенку бактерий от воздействия коронного разряда.

Таким образом, исследованный в работе фильтрующий волокнистый нетканый материал с электретным эффектом обладает бактериостатическим свойством по отношению к ряду культур микроорганизмов, что позволяет существенно расширить его функции и использовать в производстве одноразовых медицинских масок, как эффективный материал для фильтрации воздушных сред.

Поверхностная обработка материалов на основе целлюлозы и полипропилена в условиях коронного разряда способствует улучшению ключевых характеристик фильтрующих материалов, включая структурные, физико-механические, сорбционные и барьерные свойства. Полученные результаты подтверждают эффективность данного подхода для повышения эксплуатационных показателей материалов. Исследуемые образцы обладают высоким потенциалом для промышленного применения, что открывает перспективы их использования в системах фильтрации различного назначения.

IV ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ И ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ ОСНОВАХ, ОБРАБОТАННЫХ В КОРОННОМ РАЗРЯДЕ

4.1 Технологическая схема производства фильтровальной бумаги, обработанной в коронном разряде

В результате проведенных исследований было выяснено, что самыми оптимальными параметрами из всех исследуемых образцов бумажных фильтровальных материалов обладают обеззоленные фильтры «Красная лента», модифицированные в коронном разряде.

Доработанная с помощью коронирующей установки технологическая схема производства фильтровальной бумаги позволяет повысить одно из главных требований, предъявляемых к бумажным фильтрам – повышение качества фильтрата. Разработанная принципиальная технологическая схема производства фильтровальной бумаги показана на рисунке 4.1.

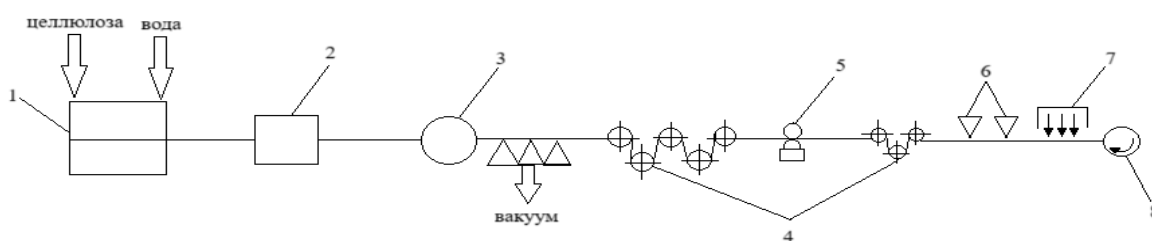


Рисунок 4.1 – Технологическая схема производства фильтровальной бумаги, обработанной в коронном разряде: 1 – аппарат распуска целлюлозы; 2 – рафинер для выравнивания помола массы; 3 – сеточное формующее устройство; 4 – цилиндрическая сушильная установка; 5 – пропиточное устройство; 6 – приборы для контроля показателей пористости и массы 1 м² готового фильтровального материала; 7 – коронатор; 8 – накат

Роспуск исходных волокнистых материалов осуществляется на аппарате 1. Далее приготовленная волокнистая масса направляется в рафинер 2, в котором она выравнивается, а в случае необходимости подмалывается. Бумагу отливают на сеточном формующем устройстве с валом и вакуумными элементами 3. Далее бумажное полотно поступает в сушильную установку 4, в которую вмонтировано устройство для пропитки 5. После прохождения бумажным полотном контроля показателей 6, оно направляется в коронатор 7, на коронирующий электрод которого подается напряжение 30 кВ. Готовая модифицированная фильтровальная бумага отправляется на накат 8.

4.2 Технология производства полимерных нетканых фильтровальных материалов, обработанных в коронном разряде

В числе полимерных нетканых материалов самыми оптимальными параметрами обладают фильтровальные материалы, полученные методом «Спанбонд» плотностью 17 г/м². Модернизированная коронирующей установкой технологическая схема показана на рисунке 4.2.

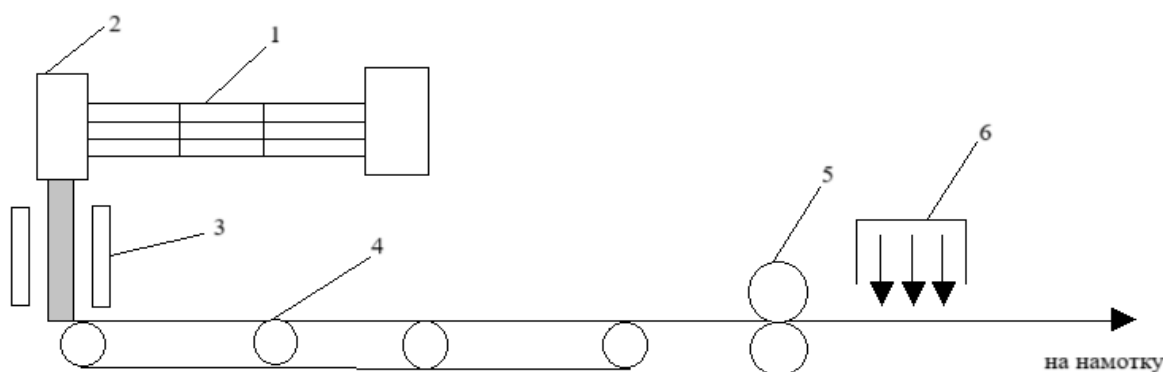


Рисунок 4.2 – Технологическая схема производства полимерного нетканого фильтровального материала, полученного методом «Спанбонд» плотностью 17 г/м², обработанном в коронном разряде: 1 – экструдер; 2 – формующая головка; 3 – вытяжное устройство; 4 – транспортерная лента; 5 – каландр; 6 – коронатор

Расплав полипропилена из экструдера 1 подаётся в формующую головку 2. Выходящие из формующей головки бесконечные волокна проходят через вытяжное устройство 3 и укладываются на движущуюся транспортерную ленту 4. Формируемый на ленте волокнистый холст подвергается точечному термоскреплению в каландре 5. Далее нетканый материал поступает в коронатор 6, на коронирующий электрод которого подается напряжение 30 кВ. После чего нетканое полотно направляется на резку, намотку и упаковку.

4.3 Технико-экономическое обоснование опытно-промышленной установки

Экономический расчет удорожания целлюлозно-бумажного материала за счет коронной обработки рассмотрен на примере обеззоленных фильтров «Красная Лента», а полимерных нетканых материалов – на примере «Спанбонд» плотностью 17 г/м².

1. Расчет стоимости электроэнергии за год производится по формуле:

$$C_э = P_k \times PC \times РДГ \times C_{1кВт*ч}, \quad (4.1)$$

где P_k – работа коронатора, кВт; PC – рабочая смена, ч; $РДГ$ – рабочих дней в году, дн; $C_{1кВт*ч}$ – стоимость 1 кВт×ч, рублях.

$$C_э = 15 \times 24 \times 250 \times 20 = 1800000 \text{ руб.}$$

2. Амортизацию оборудования рассчитываем по формуле:

$$\text{Годовая амортизация} = \frac{\text{Стоимость оборудования}}{\text{Срок службы коронатора}} = \frac{80000 \text{ руб.}}{10 \text{ лет}} = 8000 \text{ руб.} \quad (4.2)$$

Итого общая годовая стоимость обработки материала с учетом стоимости электроэнергии и амортизации составляет 1808000 руб.

Рассчитаем удорожание бумажных обеззоленных фильтров «Красная Лента».
Дано:

- удельный вес: 80 г/м² = 0,08 кг/м²;
- стоимость 1 м² до обработки: 100 рублей;
- годовая стоимость обработки: 1808000 рублей;

- объем выпуска завода: 80000 кг в год.

Рассчитаем количество м², выпускаемых за год:

$$\text{Годовой выпуск} = \frac{\text{Годовой выпуск в кг}}{\text{Удельный вес}} = \frac{80000}{0,08} = 1000000 \text{ м}^2$$

Рассчитаем удорожание на 1 м²:

$$\text{Удорожание} = \frac{\text{Годовая стоимость обработки}}{\text{Годовой выпуск}} = \frac{1808000}{1000000} \sim 2 \text{ руб/м}^2$$

Общая стоимость 1 м² после обработки составляет:

$$\begin{aligned} \text{Общая стоимость} &= \text{Стоимость до обработки} + \text{Удорожание} = \\ &100 \text{ руб} + 2 \text{ руб/м}^2 = 102 \text{ руб/м}^2 \end{aligned}$$

Удорожание 1 м² бумажных обеззоленных фильтров «Красная лента» составляет 2 рубля, что является крайне малым значением и практически не изменяет итоговую стоимость продукции.

По аналогии проводился расчет удорожания 1 м² полимерных нетканых полотен, полученных методом «Спанбонд» плотностью 17 г/м², в ходе их обработки в коронном разряде. Удорожание составило меньше 1 рубля. Такое малое удорожание также, как и в случае с бумажными фильтрами, практически не влияет на общую стоимость материала.

4.4 Пример использования целлюлозно-бумажных и полимерных нетканых фильтровальных материалов, обработанных в коронном разряде

В картридже СНК (супернатантная капсульная кассета), например, Pall Supor или аналогичных фильтрах, слои фильтрации располагаются последовательно, что обеспечивает многоуровневую и эффективную очистку жидкостей.

На рисунке 4.3 показано схематичное изображение модернизированного фильтра типа СНК.

Внешний корпус 1, состоящий из химически стойкого пластика

(полипропилена) защищает внутренние элементы и фильтрующие слои. Первым слоем 2 является предварительный фильтр, полученный методом «Мелтблаун», толщиной 0,3 мм, предназначенный для улавливания крупных частиц, волокон и осадков, чтобы предотвратить преждевременное засорение последующих слоев.

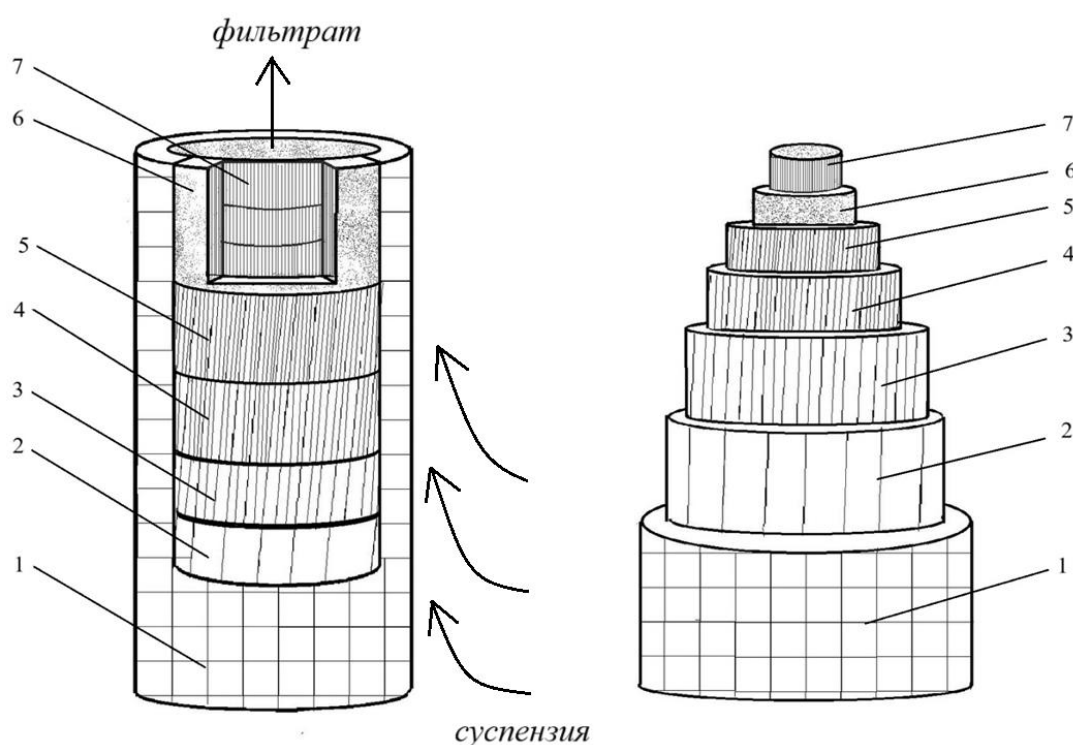


Рисунок 4.3 – Схематичное изображение модернизированного фильтра типа СНК (вид сбоку, в разрезе): 1 – внешний корпус; 2 – предварительный фильтр; 3, 4 – основные фильтрующие слои; 5 – электретирующий обеззоленный фильтр; 6 – электретирующий поддерживающий слой; 7 – центральная трубка

Далее идут основные фильтрующие слои 3 и 4, изготовленные из полипропилена методом «Мелтблаун», которые обладают толщиной 0,4 мм и размером пор 0,5 микрон, и задерживают микронные частицы, включая бактерии и микроорганизмы. Также известны случаи, где основные слои изготовлены из полисульфона, полиэфирсульфона, а также нитроцеллюлозы. Далее идет электретирующий обеззоленный фильтр 5 «Красная лента», плотность фильтра составляет 80 г/м². Поддерживающий слой 6, расположенный под основным,

отвечает за целостность и устойчивость конструкции, предотвращает ее деформацию под высоким давлением, изготовлен из полипропилена методом «Спанбонд» плотностью 40 г/м² и обработан в коронном разряде. В самом центре находится трубка 7 толщиной 5 мм и диаметром 47,5 мм, собирающая очищенную жидкость и направляющая ее далее по системе. Эта последовательность слоев обеспечивает многоступенчатую фильтрацию и продолжительный срок службы фильтра.

На производстве АО «Нэфис косметик» (г. Казань) были испытаны электретенные фильтрующие материалы для фильтрации жидких моющих средств. Фильтры СНК с обработанными фильтроматериалами (обеззоленный фильтр «Красная лента и нетканый полипропиленовый материал «Спанбонд»)), установленные на линии розлива в количестве 8 штук и отработавшие 24 часа, показали высокую разделительную способность. Акт испытаний прилагается в Приложении А.

В ходе проведенных расчетов для полимерных нетканых полотен, полученных методом «Спанбонд» плотностью 17 г/м² и обеззоленных фильтров «Красная лента» плотностью 80 г/м² было установлено, что обработка коронным разрядом приводит к крайне незначительному удорожанию продукции. Для полимерных полотен, при объеме производства 800 тонн в год, удорожание составляет меньше 1 рубля на 1 м², а для бумажных обеззоленных фильтров при выпуске 80 тонн в год – 2 рубля на 1 м². Это свидетельствует о том, что внедрение обработки коронным разрядом практически не увеличивает стоимость продукции, делая этот процесс экономически целесообразным и не влияющим на конечную цену товара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обнаружено, что при электретировании возрастает пористость фильтрующих материалов: для фильтровальной бумаги марки ФСШ с 2542 до 2661 мл/мин; для обеззоленных фильтров «Синяя лента» с 1412 до 1502 мл/мин; для обеззоленных фильтров «Черная лента» с 3208 до 3266 мл/мин – за счет травления её поверхности и, как следствие, увеличения удельной поверхности волокон в структуре бумаги. Обработка бумажных фильтроматериалов в поле коронного разряда повышает их механические свойства на 0,2 – 1,2 % за счет усиления межволоконных связей. Это связано с ориентацией и упорядочиванием структурных элементов целлюлозно-бумажного материала и ростом потенциала двойного электрического слоя на поверхности волокон. Под действием носителей заряда из коронного разряда образуется гетерозаряд, что также способствует увеличению ζ -потенциала электретных фильтрующих материалов на 18 % по сравнению с исходными.

2. При обработке в постоянном коронном разряде, замечено уменьшение краевого угла смачивания водой для бумажных обеззоленных фильтров «Синяя лента» на $3,1^\circ$ и «Черная лента» на $1,4^\circ$, что объясняется увеличением шероховатости поверхности волокон.

3. Выявлено увеличение времени прохождения водно-спиртового раствора через электретные бумажные фильтровальные материалы в среднем в 1,5 раза. При электретировании полипропиленовых нетканых полотен время фильтрования испытуемых жидкостей увеличивается в 1,3 раза. Это связано с возникновением энергетического барьера в виде электретного заряда. При этом количество включений, попавших в фильтрат, уменьшилось в среднем на 7 % для бумажных фильтроматериалов и на 20 – 22 % для нетканых полипропиленовых полотен. Показано увеличение эффективности разделения эмульсии типа «нефть в воде» после коронной обработки – на 25 % для обеззоленных фильтров «Синяя Лента» и на 33 % для фильтров «Красная Лента». Применение электретированного двухслойного материала, состоящего из бумажного обеззоленного фильтра и

нетканого полотна, позволяет улучшить чистоту получаемого фильтрата на 33 – 40 % по сравнению с исходными образцами. Двухслойный фильтрующий материал, состоящий из обеззоленного фильтра «Красная лента» и нетканого полипропиленового полотна «Спанбонд», демонстрирует синергетический эффект. Электрети́рование позволяет достигнуть этого эффекта и в отдельности для бумажных и полипропиленовых фильтровальных материалов.

4. Фильтрующий полипропиленовый нетканый материал с электретным эффектом обладает бактериостатическим эффектом по отношению к бактериям *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Haemophilus influenzae*, *Haemophilus parainfluenzae*, *Streptococcus pyogenes*, благодаря электростатическим силам, воздействующим на микроорганизмы, замедляя их рост и активность. Впервые выявлено, что электретные полипропиленовые полотна «Мелтблаун» имеют меньшую проницаемость по отношению к аэрозолю хлорида натрия на 7 % и масляному спрею на 9 %, в сравнении с исходными образцами при том же показателе сопротивления воздуха, что объясняется способностью притягивать нейтральные частицы за счет электрических сил заряженных волокон.

Перспективы дальнейшей разработки темы связаны с углубленным исследованием свойств фильтрующих материалов на основе целлюлозы и полипропилена, а также с расширением возможностей их промышленного применения. Полученные результаты открывают новые направления для оптимизации технологии производства и эксплуатации данных материалов, включая создание фильтровальных систем для очистки воздуха, воды и газов в различных отраслях промышленности.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЦБМ – целлюлозно-бумажный материал;

ЦБ – целлюлозно-бумажный;

ПП – полипропилен;

СМС – спанбонд-мелтблаун-спанбонд;

U – источник высокого напряжения;

A – измеритель тока;

V – вольтметр;

P – давление;

ФС – фильтрация средняя;

ПАВ – поверхностно-активные вещества;

$U_{\text{пол}}$ – напряжении поляризации;

ИПЭП – измеритель параметров электростатического поля;

V_s – потенциал поверхности;

E – напряженность электростатического поля;

$\sigma_{\text{эф}}$ – эффективная поверхностная плотность электрических зарядов;

ХПК – химическое потребление кислорода;

ФБ – фильтровальная бумага;

ЭФБ – электретирующая фильтровальная бумага;

СЛ – обеззоленная фильтровальная бумага «Синяя лента»;

ЭСЛ – электретирующая обеззоленная фильтровальная бумага «Синяя лента»;

КЛ – обеззоленная фильтровальная бумага «Красная лента»;

ЭКЛ – электретирующая обеззоленная фильтровальная бумага «Красная лента»;

ЧЛ – обеззоленная фильтровальная бумага «Черная лента»;

ЭЧЛ – электретирующая обеззоленная фильтровальная бумага «Черная лента»;

С17 – нетканые полотна, полученные методом «Спанбонд» плотностью 17 г/м²;

ЭС17 – электретные нетканые полотна, полученные методом «Спанбонд» плотностью 17 г/м²;

С20 – нетканые полотна, полученные методом «Спанбонд» плотностью 20 г/м²;

ЭС20 – электретные нетканые полотна, полученные методом «Спанбонд» плотностью 20 г/м²;

М25 – нетканые полотна, полученные методом «Мелтблаун» плотностью 25 г/м²;

ЭМ25 – электретные нетканые полотна, полученные методом «Мелтблаун» плотностью 25 г/м²;

МН – машинное направление;

ПН – поперечное направление;

ζ-потенциал – дзетта-потенциал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. / редкол.: П. Осипов [и др.]. – СПб: Политехника, 2002–2006. – Т. 2: Производство бумаги и картона. Ч. 1: Производство бумаги и картона / В. Комаров [и др.]. – 2005. – 423 с.
2. Пузырев С.А. Справочник бумажника / С. А. Пузырев, Н. В. Рюхин. 2-е изд., перераб. и доп. – М: Лесная промышленность, 1966. – 852 с.
3. Скуг Д. Основы аналитической химии / Д. Скуг, Д. Уэст. – Т. 2. – М.: Мир, 1979. – 438 с.
4. Гончаров А.И. Справочник по химии / А.И. Гончаров, М.Ю. Корнилов. – Киев: Издательское объединение «Вища школа». – 308 с.
5. Канарский А.В. Фильтровальные виды бумаги и картона для промышленных технологических процессов. – М.: Экология, 1991. – 292 с.
6. Бумага фильтровальная Марка ФОБ-III ГОСТ 12026-76 [Электронный ресурс]: Марийский ЦБК // Химмедсервис. – URL: https://medhim.ru/catalog/raskhodnye_materialy_dlya_laboratorii/filtry_i_bumaga_filtrovalnaya_membrany/filtrovalnaya_bumaga/9915 (дата обращения: 07.03.2024).
7. Классификация лабораторных бумажных фильтров (цветовая маркировка) [Электронный ресурс] // Necolab. – URL: <http://www.wiegand.ru/info/references/detail.php?ID=56495> (дата обращения: 07.03.2024).
8. Комаров В.И. Технология целлюлозно-бумажного производства. – Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит / В.И. Комаров, Л.А. Галкина, Л.Н. Лаптев и др. – СПб.: Политехника, 2006. – 499 с.
9. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 695 с.
10. Вороновская Г.А. Фильтрующие свойства материалов на основе минеральных волокон из базальта // Межвуз. сб. науч. тр. «Химия и технология целлюлозы». – Л.: ЛТА, 1977. – № 4. – С. 69-71.

11. Лауфманн М. Производство бумаги без содержания древесной массы в щелочной среде с применением измельченного природного карбоната кальция // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 1999. – С. 22-29.
12. Вураско А.В. Технологии получения, обработки и переработки бумаги и картона: учебное пособие; изд. 2-е, дополненное и переработанное / А.В. Вураско, М.А. Агеев, А.Я. Агеев; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2021. – 276 с.
13. Аким Э.Л. Обработка бумаги. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 232 с.
14. Пузырев С.А. и др. Технология обработки и переработки бумаги и картона. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 312 с.
15. Кряжев А.М., Голуб О.В., Санжаровский А.Ю. Энциклопедия технологий 2.0. Производство неметаллов. Раздел 4. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона / ФГАУ «НИИ «ЦЭПП». – М.; СПб.: Реноме, 2033. – С. 319-460.
16. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
17. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / А.Н. Плановский, П.И. Николаев. – М.: Химия, 1987. – 540 с.
18. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – 9-е изд. – М.: Химия, 1973. – 750 с.
19. Пузырев С.А. Бумага и картон, как фильтрующие материалы. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 88 с.
20. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. – 2-е изд. / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 494 с.
21. Скобло А.И., Трегубов И.А. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – М.: Химия, 1982. – 584 с.

22. Таранцева К.Р. Процессы и аппараты химической технологии в технике защиты окружающей среды: учеб. пособие / К.Р. Таранцева, К.В. Таранцев. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. – 484 с.
23. Лунев В.Д., Емельянов Ю.А. Фильтрация в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982. – 72 с.
24. Пискарев И.В. Фильтровальные ткани. Изготовление и применение. – М.: Издательство академии наук СССР, 1963. – 190 с.
25. Григорьев М.А., Борисова Г.В. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
26. Бордунов В.В., Бордунов С.В., Ситников А.С., Соболев И.А. Перспективные полимерные волокнистые материалы для очистки воздуха // Известия ТПУ. – 2002. – № 3. – С. 222-226.
27. Земсков В.И., Харченко Г.М. Свойства фильтрующих перегородок из природного цеолита // Вестник АГАУ. – 2014. – № 4. – С. 148-152.
28. Красников В.Я., Ковалев С.В. Фильтровальные материалы для очистки растительных масел // Конструирование, использование и надежность машин сельского назначения. – 2004. – № 1(3). – С. 49-52.
29. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1982. – 350 с.
30. Жужиков В.А. Фильтрация: Теория и практика разделения суспензий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
31. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: пер. с англ. / М. Мулдер. – М.: Мир, 1999. – 513 с.
32. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер; пер. с англ. под ред. Ю.П. Ямпольского. – М.: Мир, 1999. – 513 с.
33. Брик М.Т. Энциклопедия мембран в двух томах / М.Т. Брик. – Киево-Могилевская академия, 2005. – 660 с.
34. Косточко А.В., Валишина З.Т., Старостина И.А., Хакимзянова Р.И., Каталевский Е.Е. Мембранные фильтры на основе нитратов целлюлозы /

А.В. Косточко, З.Т. Валишина, И.А. Старостина [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2019. – Т. 22, № 5. – С. 54-59.

35. Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 368 с.

36. Набиев Р.Р., Дряхлов В.О., Шайхиев И.Г., Галиханов М.Ф., Низамеев И.Р. Модификация ацетатцеллюлозных мембран униполярным коронным разрядом для разделения водонефтяной эмульсии // ЭОМ. – 2022. – № 3. – 70-77 с.

37. Grigoriev A.M., et al. Study of the catalytic activity of Ag nanoparticles in fibrous paper-like structures // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Vol. 8, No. 3. – P. 506-512.

38. Ma J., et al. Silver nanoparticle/polyelectrolyte multilayer functionalized filter paper for antimicrobial activity // ACS Applied Materials & Interfaces. – 2013. – Vol. 5– №. 12. – P. 5575-5581.

39. Пат. 2651249 С1. Способ получения бумаги с антимикробными свойствами / Разуваева Ю.В., Якубовский А.В. // Бюл. № 11 – 2018. – 10 с.

40. Канарский А.В. Технология фильтровального картона для очистки медико-биологических жидкостей: дис. канд. техн. наук: 05.21.03 / Канарский Альберт Владимирович. – Волжск, 1984. – 206 с.

41. Канарский А.В. Влияние способа обработки целлюлозы на свойства фильтровального картона // Лесн. журн. – 1991. – № 2. – С. 97-100.

42. Канарский А.В. Совершенствование способов обработки целлюлозы в технологии фильтровальных видов бумаги и картона // Лесн. журн. – 1997. – № 4. – С. 111-114.

43. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 695 с.

44. Смолин А.С., Дубовый В.К., Канарский А.В., Комаров Д.Ю. Пенный способ формования фильтровальной бумаги на целлюлозной основе // Вестник технологического университета. – 2016. – № 15. – С. 86-88.

45. Смолин А.С., Дубовый В.К., Комаров Д.Ю., Канарский А.В. Влияние пенного способа формования на свойства фильтровальных материалов из

минеральных волокон // Вестник технологического университета. – 2016. – № 12. – С. 82-85.

46. Дубовый В.К., Гельфанд Е.Д., Русанова Н.О., Сысоева Н.В., Безлаковский А.И., Бровко О.С. Оценка фильтрующей способности материала на основе стеклянных волокон // Arctic Environmental Research. – 2013. – № 2. – С. 122-127.

47. Бровко О.С., Паламарчук И.А., Сысоева Н.В., Вальчук Н.А., Бойцова Т.А., Боголицын К.Г., Дубовый В.К. Фильтрующие материалы на основе минеральных волокон с биополимерным слоем // Известия ВУЗов. Лесной журнал. – 2017. – № 1 – С. 186-194.

48. Шафир А.И., Паншинская Н.М., Синицкий А.А., Аверьянова А.В. Использование бумажных фильтров для очистки вентиляционного воздуха от вирусов // Гигиена и санитария. – 1957. – № 9. – С. 5-11.

49. Шафир А.И., Коузов П.А., Паншинская Н.М. Бумажные фильтры для очистки вентиляционного воздуха от микроорганизмов и пыли // Гигиена и санитария. – 1953. – № 9. – С. 23-28.

50. Горчакова В.М. Нетканые материалы, перспектива развития и подготовка кадров // Нетканые материалы. – 2014. – № 1. – С. 16-17.

51. Анализ рынка нетканых материалов в России в 2019-2023 гг, прогноз на 2024-2028 гг. – 105 с. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id8915/> (дата обращения: 20.03.2024).

52. Кравцов А.Г., Марченко С.А., Зотов С.В., Станкевич В.М., Наумов А.Д. Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы / под общ. ред. Ю.М. Плескачевского. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 319 с.

53. Герасимов В.М. Применение волокнистых полимерных материалов в фильтровании оборотных и сточных вод на горных предприятиях // Вестник ЗабГУ. – 2012. – № 4. – С. 9-13.

54. Сергеенков А.П., Корягин В.И. Нетканые материалы на пути прогресса // Сборник научных трудов. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2010. – 112 с.

55. Мухамеджанов Г.К. Новые отечественные нетканые материалы для промышленного применения и спецодежды // Технический текстиль. – 2006. – № 14. – С. 5-8.
56. Бугай Н.Г., Кривоног А.И., Кривоног В.В., Фридрихсон В.Л. Волокнисто-пористые материалы из полимерных волокон в мелиоративном и гидротехническом строительстве и при очистке воды // Прикладная гидромеханика. – 2007. – Т. 9, № 2-3. – С. 37-51.
57. Хакимуллин Ю.Н., Вольфсон С.И., Галимзянова Р.Ю., Кузнецова И.В., Ручкин А.В., Абдуллин И.Ш. Нетканые материалы на основе полимеров, используемые для производства медицинской одежды и белья, стерилизуемой радиационным излучением: виды материалов, технологии производства // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 23. – С. 97-103.
58. Мухамеджанов Г.К., Конюхова С.В. Выбор нетканых фильтрующих материалов для воздушных рукавных фильтров // Нетканые материалы. Продукция, оборудование, технологии. – 2012. – № 4. – С. 4-7.
59. Салимова А.И. Использование полимеров в производстве нетканых материалов // Вестник Казанского техн. ун-та. – 2013. – № 10. – 110 с.
60. Озеров Б.В., Гусев В.Е. Проектирование производства нетканых материалов. – М.: Химия, 1984. – 400 с.
61. Бершев Е.Н., Курицина В.В., Куриленко А.И., Смирнов Г.П. Технология производства нетканых материалов. – М.: Химия, 1982. – 352 с.
62. Калимуллина А.Р., Романова Н.В. Химическая технология полимерных волокон в текстильных материалах // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 16. – С. 141-143.
63. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение. – М.: КолосС, 2011. – 360 с.
64. Перепелкин К.Е. Структура и свойства волокон. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
65. Пакшвер А.Б., Мельников Б.Н., Усенко В.А. Свойства и особенности переработки химических волокон. – М.: Химия, 1975. – 495 с.

66. Fourne F. Synthetic Fibers. Munchen: Carl Hanser Verlag, 1999. – 810 p.
67. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности // Российский химический журнал (ЖРХО им Д.И. Менделеева). – 2002. – Т. 46, № 1. – С. 31-48.
68. Чеишвили Р.В., Носов М.П., Тарасенко Н.К. Исследование особенностей свето-структуры капроновых стабилизированных моноплетей под воздействием естественного и искусственного облучения // Изв. вуз. Технол. Легкой промышленности. – 1984. – № 1. – С. 16-19.
69. Салимова А.И. Использование полимеров в производстве нетканых материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 1. – С. 110-113.
70. Салимова А.И. Необходимость создания новых текстильных материалов с повышенными эксплуатационными свойствами на основе полимеров // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 4. – С. 183-185.
71. Гончаров А.И., Корнилов М.Ю. Справочник по химии. – Киев: Издательское объединение «Вища школа». – 308 с.
72. Хакимуллин Ю.Н., Вольфсон С.И., Галимзянова Р.Ю., Кузнецова И.В., Ручкин А.В., Абдуллин И.Ш. Нетканые материалы на основе полимеров, используемые для производства медицинской одежды и белья, стерилизуемой радиационным излучением: виды материалов, технологии производства // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 23. – С. 97-103.
73. Абдуллин И.Ш., Ибрагимов Р.Г., Музафарова Г.Ш., Саматова Э.М. Современные технологии производства нетканых материалов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 19. – С. 114-119.
74. Кочуров Д.В. Получение нетканого материала // Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 44 с.
75. Grafe T., Graham K. Polymeric Nanofibers and Nanofiber Webs: A New Class of Nonwovens. International Nonwovens Journal. – 2003. – P 51-55.

76. Мухамеджанов Г. Основные тенденции развития производства нетканых материалов в России по отдельным ассортиментным группам // Легкая промышленность Курьер. – № 1. – 2013. – С. 8-10.
77. Коровина М.А., Борисова Л.К. Текстиль на службе медицины // Швейная промышленность. – 2013. – № 2. – С. 39-42.
78. Тимошин Н.М., Тимошина Ю.А. Нетканые материалы медицинского назначения // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 13. – С. 123-125.
79. Гарифуллина А.Р., Гарипов Р.Р., Алали Ш. Анализ технических решений на нетканые материалы медицинского назначения // Аллея науки. – 2020. – № 5 (44). – С. 83-86.
80. Кутенев В.Ф., Саморуков В.В. Комбинированные многослойные материалы для воздушных, топливных и масляных фильтров ДВС с большим интервалом обслуживания // Тр. НАМИ. – 2010. – № 243. – С. 127-147.
81. Кутлин Ю.Н., Шарипов А.Н., Шарафутдинов Ю.Ф. Сравнительная оценка фильтров очистки молока // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – № 6. – С. 528-531.
82. Кравцов А.Г., Зотов С.В., Савицкий Н.Е., Барановский М.В., Латышев А.В. Тонкая очистка молока отечественными полимерными фильтрами // Наука и инновации. – 2011. – № 97. – С. 69-72.
83. Кравцов А.Г., Зубарева А.В., Зотов С.В., Овчинников К.В., Савицкий Н.Е. Полимерные фильтры для повышения радиационной безопасности молочной продукции // Поликомтриб-2015: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Гомель: ИММС НАНБ, 2015. – С. 140.
84. Герасимов В. М. Фильтрация загрязненных вод волокнистыми полимерными материалами // ГИАБ. – 2011. – №11. – С. 121-124.
85. Salvado R, Silvy J, Dréan J-Y. Relationship between Fibrous Structure and Spunbond Process. Textile Research Journal. – 2006. – P. 805-812.
86. Крупнова М.И. Пути повышения качества окрашенного волокна нитрон // Хим. Волокна. – 1982. – №1. – С. 56-58.

87. Баженов В.И. Материалы для швейных изделий. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 312 с.
88. Аниськова В.А. Нетканые многослойные фильтровальные материалы // Евразийский Союз Ученых, 2018. – №8-1 (53). – С. 4-6.
89. Камалова Э.Р. Пути развития нетканых материалов из полимеров // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №18. – С. 79-80.
90. Pasichnyk M. Development of polyester filters with polymer nanocomposite active layer for effective dye filtration / M. Pasichnyk, J. Gaálová, P. Minarik, M. Václavíková, I. Melnyk // Scientific reports 12. – 2022.– № 1. – P. 973.1-973.12.
91. Пат. 126007 U1. Антимикробный нетканый материал для медицинских и санитарно-гигиенических изделий краткосрочного пользования / Фокина Н.А., Засенко Н.В., Чибисова Т.В., Морыганов П.В. // Бюл. № 8 – 2013. – 1 с.
92. Пат. 2502524 C1. Многослойный антимикробный нетканый материал / Лопандина С.К., Дробышев А.Ю., Просычева О.О., Подгаевская Т.А., Козинда З.Ю., Ерофеев О.О., Морева Т.В. // Бюл. № 36 – 2013. – 10 с.
93. Пат. 2529829 C1. Многослойный нетканый материал с полиамидными нановолокнами / Юданова Т.Н., Афанасов И.М., Перминов Д.В. // Бюл. № 27 – 2014. – 11 с.
94. Пат. 2288983 C1. Способ получения антимикробных нетканых текстильных материалов / Горчакова В.М., Измайлов Б.А., Савинкин А.В., Кучкова Е.И., Заикина Н.Б., Осокина О.А. // Бюл. № 34 – 2006. – 3 с.
95. Тарасов А.В. Модификация микрофильтрационных полиамидных мембран с использованием наноматериалов с целью повышения их сорбционных способностей и для придания бактериостатических свойств / А.В. Тарасов, Ю.А. Федотов, С.А. Лепешин, К.В. Окулов, Е.С. Яворская // Тезисы докладов III Международной конференции «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества». – Суздаль, 2010 г. – С. 48.
96. Пат. 248919 C1. Способ получения антибактериальной полимерной мембраны / Тарасов А.В., Федотов Ю.А., Лепешин С.А., Панов Ю.Т. // Бюл. № 22 – 2013. – 7 с.

97. Губкин, А.Н. Электреты / А.Н.Губкин. – М.: Наука, 1978. – 192 с.
98. Лущейкин, Г.А. Полимерные электреты/ Г.А Лущейкин. –М.: Химия, 1984. –184 с.
99. Сесслер, Г. Электреты / Г. Сесслер ; пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 487 с.
100. Лущейкин, Г.А. Электретный эффект в полимерах. Достижения в получении и применении электретов / Г.А. Лущейкин // Успехи химии. – 1983. – № 8. – С. 1410-1429.
101. Борисова, М.Э. Электретный эффект в диэлектриках / М.Э. Борисова, С.Н. Койков // Известия ВУЗов. Сер. Физика. – 1979. - №1. – С. 74-89.
102. Гриднев, С.А. Диэлектрики с метастабильной электрической поляризацией / С.А. Гриднев // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №5. – С. 105-111.
103. A. Kravtsov, H. Brünig, S. Zhandarov, R. Beyreuther The electret effect in polypropylene fibers treated in a corona discharge // Volume19, Issue 4, 2000. P. 312-316.
104. Галиханов, М.Ф. Полимерные короноэлектреты: традиционные и новые технологии и области применения / М.Ф. Галиханов, Т.Р. Дебердеев // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 4. – С. 45-57.
105. Пинчук, Л.С. Электретные материалы в машиностроении / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде. – Гомель: Инфотрибо, 1998. – 288 с.
106. Гороховатский, Ю.А. Электретный эффект и его применение / Ю.А. Гороховатский // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №8. – С. 92-98.
107. Kestelman V. N., Pinchuk L. S., Goldade V. A. Electrets in Engineering: Fundamentals and Applications / Kluwer Acad. Publ. – 2000. – P. 281.
108. Фридкин В. М., Желудев И. С. Фотоэлектреты и электрофотографический процесс. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 247 с.
109. Моргунов М.С., Кузнецов В.В., Ершов М.В. Электретные стимуляторы остеорепарации на основе анодного оксида тантала для лечения остеоартроза // Медицинская техника. – 2018. – № 3(309). – С. 17-20.

110. Моргунов М. С., Нетупский И. В., Орлов В. М., Хомутов В. П. Импланты с электретыным покрытием из анодного оксида тантала и полимера // Материаловедение. – 2012. – № 7. – С. 26-29.
111. Руцкий В.В., Хомутов В.П., Моргунов М.С. Особенности остеорепаляции при накомном остеосинтезе с использованием электретов. Ортопедия, травматология, протезирование. // М.Медицина. – 1988. – №12. – С. 1-5.
112. Александрова С. А., Александрова О. И., Хомутов В. П., Моргунов М. С., Блинова М. И. Влияние электрического поля электрета на основе анодного оксида тантала на дифференцировочные свойства стромальных клеток костного мозга больного остеоартрозом // Цитология. – 2018. – №60 (12). – С. 987-995.
113. Линник С.А., Хомутов В.П. Исследование эффективности электростатического поля в лечении остеоартроза // РМЖ. – 2017. – № 20. – С. 2-5.
114. Хомутов В. П., Линник С. А., Жигунов А. Г., Хомутов В. В. Возможности хирургического лечения больных гонартрозом с применением электретов // Современная медицина. – 2018. – №1 (9). – С. 87-90.
115. Хомутов В. П., Линник С. А., Хомутов В. В., Калязин А. В. Клиническая эффективность электрического поля электрета при хирургическом лечении остеоартроза тазобедренного сустава // Consilium Medicum. – 2019. – Т. 21. – №8. – С. 116-120.
116. Петрянов И. М., Козлов В. И., Басманов П. И., Огородников Б. И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. – М.: Наука, 1968. – 192 с.
117. Гороховатский Ю. А., Кувшинова О. В., Рычков А. А., Темнов Д. Э. Электретыный эффект волокнистых полимерных материалов // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2002. – №4. – С. 59-63.
118. Макаревич А. В., Пинчук Л. С., Гольдаде В. А. Электрические поля и электроактивные материалы в биотехнологии и медицине. – Гомель: ИММС НАНБ, 1998. – 106 с.

119. Гольдаде В. А., Макаревич А. В., Пинчук Л. С., Сиканевич А. В., Чернорубашкин А. И. Полимерные волокнистые melt-blown материалы. – Гомель: ИММС НАНБ, 2000. – 96 с.
120. Гольдаде В. А., Зотов С. В., Кравцов А. Г., Рычков А. А., Кузнецов А. Е., Трифонов С. А., Темнов Д. Э. Электретный эффект в волокнистых полимерных материалах, модифицированных трихлоридом фосфора // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. – 2009. – №79. – С. 123-129.
121. Liu F., Li M., Shao W., Yue W., Hu B., Weng K., Chen Y., Liao X., He J. Preparation of a polyurethane electret nanofiber membrane and its air-filtration performance // Journal of Colloid and Interface Science. 2019. Vol. 536. P. 224-232.
122. Гасанов А. Ш., Магеррамов А. М., Нуриев М. А., Оруджев И. А. Релаксация электретных зарядов пленок ПЭТФ после воздействия аэрозольных частиц // Электронная обработка материалов. – 2012. – №4. – С. 59-63.
123. Гасанов А. Ш., Магеррамов А. М. Электретное состояние тонких полимерных пленок ПЭТФ и его фильтрующие свойства // Научные труды Национальной академии авиации. Азербайджан, Баку. – 2007. – №1. – С. 139-145.
124. Шайхиев И. Г., Сафина Г. Ш., Дряхлов В. О., Алексеева М. Ю., Назмиева А. И. Интенсификация разделения водомасляных эмульсий полисульфонамидными мембранами, обработанными в поле униполярного коронного разряда // Вестник технологического университета. – 2015. – №17. – С. 217-220.
125. Дряхлов В. О., Никитина М. Ю., Шайхиев Т. И., Загидуллина И. А., Фридланд С. В. Влияние параметров коронного разряда на эффективность разделения водомасляных эмульсий полиэфирсульфоновыми мембранами // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №14. – С. 103-105.
126. Шайхиев И. Г., Сафина Г. Ш., Алексеева М. Ю., Дряхлов В. О., Гужова А. А. Влияние параметров униполярного коронного разряда на селективность и производительность разделения водомасляной эмульсии полисульфонамидными мембранами // Вестник технологического университета. – 2016. – №5. – С. 89-92.

127. Галиева Л. Ш., Дряхлов В. О., Шайхиев И. Г., Галиханов М. Ф. Изучение интенсификации и возможности регенерации полиакрилонитрильных мембран обработкой коронным разрядом при разделении водонефтяной эмульсии // Вестник технологического университета. – 2017. – №20. – С. 112-116.
128. Галиева Л. И., Федотова А. В., Дряхлов В. О., Шайхиев И. Г., Гараева Г. Ф. Разделение водонефтяной эмульсии коронообработанными полиакрилонитрильными мембранами с массой отсекаемых частиц 25 кДа // Вестник технологического университета. – 2017. – №5. – С. 127-129.
129. Мусина Л. Р., Галиханов М. Ф., Нафикова А. Р. Влияние электретиrowания на деформационные и прочностные свойства бумажных фильтров // Вестник технологического университета. – 2017. – №6 – С. 48-55.
130. Мусина Л. Р., Галиханов М. Ф. Влияние электретиrowания на сорбционные и фильтрующие свойства фильтровальной бумаги // Химия растительного сырья. – 2017. – №2. – С. 155-161.
131. Перепелкина Д. А., Галиханов М. Ф., Перепелкина А. А., Мусина Л. Р. Влияние электретного состояния на время фильтрования парфюмерной жидкости целлюлозно-бумажным материалом // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №23. – С. 182-185.
132. Назмиева А. И., Галиханов М. Ф., Мусина Л. Р. Изучение физико-механических свойств и процесса биоразложения модифицированной мешочной бумаги // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2017. – №5. – С. 150-158.
133. Мусина Л. Р., Галиханов М. Ф. Применение поверхностной обработки и электретиrowания для увеличения показателей качества гофрированного картона // Химия растительного сырья. – 2012. – №3. – С. 189-192.
134. Gilfanova S. V., Galikhanov M. F., Galeeva L. R., Sunait V. N., Kuznetsov A. G. Influence of unipolar corona discharge on mechanical and operating properties of paper ashless filters // AIP Conference Proceedings. – 2020. – Vol. 2313. – P. 060022 – 1-060022 – 5.
135. Гильфанова С. В., Галиханов М. Ф., Галеева Л. Р. Влияние электретного эффекта на бумажные обеззоленные фильтры // Физика. Технологии. Инновации:

тезисы докладов VII Международной молодежной научной конференции, посвященной 100-летию Уральского федерального университета, Екатеринбург: УрФУ. – 2020. – С. 757-758.

136. Imani R., Talaiepour M., Dutta J., Ghobadinezhad M. R., Hemmasi A. H., Nazhad M. M. Production of antibacterial filter paper from wood cellulose // *BioResources*. – 2011. – Vol. 6. – P. 891-900.

137. Фляте Д. М. Свойства бумаги / Д. М. Фляте. – М.: Лесная промышленность, 2012. – 384 с.

138. Perepelkina, A. A., Galikhanov M. F., Musina L. R. Effect of unipolar corona discharges of pulp-and-paper materials // *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. – 2015. – № 51. – P. 138-142.

139. Мусина Л. Р., Назмиева А. И., Галиханов М. Ф. Изменение механических свойств целлюлозно-бумажного материала при обработке его поверхности // *Бутлеровские сообщения*. – 2017. – Т. 49. – № 3. – С. 44-49.

140. Гильфанова, С. В., Галеева Л. Р., Галиханов М. Ф. Электретные свойства бумажных обеззоленных фильтров // *Сборник научных статей Всероссийской молодежной научной конференции*. Т. 3. Курск: Юго-Западный государственный университет. – 2020. – С. 145-147.

141. Галиханов М. Ф., Бударина Л. А. Коронозлектреты на основе полиэтилена и сополимеров этилена с винилацетоном // *Пластические массы*. – 2002. – № 1. – С. 40-42.

142. Сажин Б. И. Электрические свойства полимеров. – 3-е изд. Л.: Химия, 1986. – 224 с.

143. Yovcheva T. A., Mekishev G. A., Marinov A. T. A percolation theory analysis of surface potential decay related to corona charged polypropylene (PP) electrets // *J. Phys.: Condens. Matter*. – 2004. – № 16. – P. 455-464.

144. Волкова. С. В., Мусина Л. Р. Изучение комплекса свойств волокнистых полимерных материалов // *Сборник материалов Четвертый междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии»*, Москва. – 2018. – С. 914.

145. Гильфанова С. В., Галиханов М. Ф., Галеева Л. Р. Изменение геометрических и сорбционных свойств бумажных обеззоленных фильтров при их обработке в поле коронного разряда // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 9. – С. 101-104.
146. Гильфанова С. В., Галиханов М. Ф., Галеева Л. Р. Влияние электретного эффекта на геометрические свойства бумажных обеззоленных фильтров // Физика. Технологии. Инновации: тезисы докладов VIII Международной молодежной научной конференции, Екатеринбург. – 2021. – С. 775-776.
147. Galikhanov M. F. Unipolar Corona Discharge Effect on Filtering Capacity of Polypropylene Non-Woven Fabrics // Fibre Chemistry. – 2017. – V. 48. – № 6. – P. 473-477.
148. Смирнова К. В., Никитин Д. И., Шикова Т. Г., Титов В. А. Модифицирование полипропилена в послесвечении разряда атмосферного давления в воздухе // Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий. – 2015. – Т. 1. – № 6. – С. 257-262.
149. Галеева Л. Р., Галиханов М. Ф., Гильфанова С. В. Упрочненные фильтровальные материалы на бумажной основе // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. – No. 2(18). – С. 7-15.
150. Мусина Л. Р., Галиханов М. Ф., Волкова С. В. Управление эксплуатационными свойствами фильтровальной бумаги с помощью униполярного коронного разряда // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы IV международной научно-технической конференции. Архангельск, 2017. – С. 114-119.
151. Гильфанова С. В., Галиханов М. Ф., Сунайт В. Н., Кузнецов А. Г., Галеева Л. Р. Влияние униполярного коронного разряда на эксплуатационные свойства бумажных фильтров // Вестник технологического университета. – 2020. – Т. 23. – № 5. – С. 53-56.
152. Волкова С. В., Мусина Л. Р. Влияние электретного эффекта на прочностные характеристики обеззоленных фильтров // Физика. Технологии.

Инновации: тезисы докладов V Международной молодежной научной конференции, посвященной памяти почетного профессора УрФУ В. С. Кортова. Секция 1. Физика конденсированного состояния. Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 34-35.

153. Галеева Л. Р., Галиханов М. Ф., Гильфанова С. В. О причинах изменения механических свойств бумажных обеззоленных фильтров при их обработке в униполярном коронном разряде // Химия растительного сырья. – 2021. – № 1. – С. 337-343.

154. Кайгородов Ю. М. Математическое моделирование коронного разряда // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 1. – С. 120-122.

155. Петряев Е. П., Болтроменюк В. В., Коваленко Н. И., Шадыро О. И. Механизм радиационно-инициированной деструкции целлюлозы и ее производных // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1988. – Т. 30. – № 10. – С. 2069-2075.

156. Ковернинский И. Н., Дулькин Д. А., Дубовый В. К., Кожевников С. Ю. Роль Z-потенциала в межволоконном взаимодействии // Физикохимия растительных полимеров: материалы IV международной конференции. Архангельск, 2011. – С. 133-134.

157. Brouwer, P. H. The relationship between zeta potential and ionic demand and how it affects wet-end retention // Tappi Journal. –1991. – P. 170-179.

158. Гильфанова С.В. Влияние коронного разряда на поверхностные свойства бумажных обеззоленных фильтров / С.В. Гильфанова, М.Ф. Галиханов, Л.Р. Галеева // Кирпичниковские чтения – XV Международная конференция молодых ученых, студентов и аспирантов «Синтез и исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений», Казань. – 2021. – С. 188-189.

159. Gilfanova S. V., Galikhanov M. F., Galeeva L. R. Influence of electret effect on filter and dividing capabilities of polymer nonwoven materials // AIP Conference Proceedings. – 2019. – Vol. 2174. – P. 020214 – 1-020214 – 4.

160. Gilfanova S. V., Galeeva L. R., Galikhanov M. F. Influence of electret effect on filter and dividing capabilities of polymer nonwoven materials // Физика. Технологии. Инновации: тезисы докладов VI Международной молодежной научной конференции, посвященной 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ. Екатеринбург: ООО «Издательство учебно-методический центр УПИ», 2019. – С. 94-95.

161. Гильфанова С. В., Галеева Л. Р., Галиханов М. Ф. Электретный эффект в полимерном нетканом материале и его влияние на фильтрующую способность // Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Актуальные проблемы науки о полимерах – 2018», посвященной 60-летию юбилею кафедры технологии пластических масс. Казань, 2018. – С. 172.

162. Перепелкина А. А., Мусина Л. Р., Галиханов М. Ф. Влияние достижения высоких показателей механической обработки и электрофизического воздействия на сопротивление продавливанию целлюлозно-бумажного материала // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 7. – С. 113-114.

163. Galikhanov M. F., Borisova A. N., Deberdeev R. Ya. Investigation of Electret Properties in Polymer Materials // Polymer Science, Series A. – 2006. – Vol. 48. – P. 133-137.

164. Vlaeva I., Yovcheva T., Viraneva A., Kitova S., Exner G., Guzhova A., Galikhanov M. et al. Influence of Corona Discharge on Properties of Polypropylene Electrets // Journal of Physics: Conference Series. – 2012. – Vol. 398. – P. 1-6.

165. Plevachuk V.G., Vertyachich I.M., Goldade V.A., Pinchuk L.S. Influence of polymer electret charge on liquid spreading // Vysokomolekul. Comm., Ser. A. –1995. – Vol. 37. – № 10. – P. 1728.

166. Шабаетова А.Б., Дряхлов В.О., Шайхиев И.Г., Гильфанова С.В., Галиханов М.Ф. Разделение водонефтяной эмульсии полиамидными мембранами, обработанными коронным разрядом // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире: материалы Всероссийской научной

конференции с международным участием / Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. Казань: Изд-во КНИТУ, 2021. – С. 508-513.

167. Guliakova A.A., Galikhanov M.F., Galeeva L.R., Gilfanova S.V., Peng Fang. Investigation of electret and filtering properties of polypropylene-based nonwoven fabrics and its composites with 2 vol% of silicon dioxide inclusions // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2020. – Vol. 27. – № 5. – P. 1656-1661.

168. Кравцов А.Г., Зотов С.В., Тумилович М.В., Гильфанова С.В. Применение модифицированных полимерных волокнистых материалов в качестве фильтроэлементов для очистки многофазных сред // Вестник технологического университета. – 2021. – Т. 24. – № 11. – С. 51-56.

169. Воробьев А.А., Быкова А.С. Атлас по медицинской микробиологии, вирусологии и иммунологии // Медицинское информационное агентство. – 2003. – 236 с.

170. Галиханов М.Ф., Абасева И.С., Галеева Л.Р., Гильфанова С.В., Загрутинова А.К., Сидорова И.В., Яруллина И.И. Нетканые полипропиленовые полотна с бактериостатическим эффектом для медицинских масок // Вестник технологического университета. – 2019. – № 3. – С. 56.

171. Лысак В.В. Микробиология. БГУ, 2007. – 426 с.

172. Тарасов А.В., Лепешин С.А., Федотов Ю.А., Прунтова О.В., Тверской А.И., Панов Ю.Т. Исследование бактерицидных свойств модифицированных полиамидных мембран // Мембраны и мембранные технологии. – 2013. – Т. 3. – № 1. – С. 69-74.

173. Кукшинов В.В., Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А. // Вестник ПНИПУ. – 2014. – №1. – С.53-62.

174. Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология / Издательский центр «Академия». – 2009. – 352 с.

175. Галеева Л. Р., Галиханов М. Ф., Гильфанова С. В. Электретные нетканые материалы: инновационные фильтры с бактериостатическими свойствами для медицинских масок // Актуальные проблемы науки о полимерах:

материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием)
преподавателей и студентов вузов. – Казань. – 2024. – С. 329-331.

ПРИЛОЖЕНИЕ

УТВЕРЖДАЮ

Технический директор-
главный инженер
АО «Нэфис Косметикс»

АКТ

опытно-промышленных испытаний фильтрующих материалов

Комиссия в составе представителей Акционерного общества «Нэфис косметикс» главного технолога Филягиной Е.В., директора по производству Лучихиной Т.А. и представителей Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (КНИТУ) профессора Галиханова М.Ф., доцента Галеевой Л.Р. и аспиранта Гильфановой С.В. установила, что на производстве были испытаны фильтрующие материалы для фильтрации жидких моющих средств. Фильтрующие материалы представляли собой полипропиленовый и бумажный фильтроматериалы, обработанные в поле отрицательного коронного разряда, для фильтров типа СНК.

Фильтры СНК с обработанными фильтроматериалами, установленные на линии розлива в количестве 8 штук и отработавшие 24 часа, показали высокую разделительную способность и качество отфильтрованных жидкостей на предмет наличия в фильтрате посторонних включений. По сравнению с используемыми на производстве, разделительная способность испытываемых фильтрующих материалов выше в 4 раза.

Комиссия считает, что вышеуказанные фильтрующие материалы пригодны для фильтрации жидких моющих средств и могут быть рекомендованы в качестве составных частей промышленных фильтров.

Главный технолог АО «Нэфис Косметикс»

Е.В. Филягина

Директор по производству АО «Нэфис Косметикс»

Т.А. Лучихина

Профессор КНИТУ

М.Ф. Галиханов

Доцент КНИТУ

Л.Р. Галеева

Аспирант КНИТУ

С.В. Гильфанова