

УДК 676.014

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРЕТИРОВАНИЯ НА СОРБЦИОННЫЕ И ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ БУМАГИ**

© *Л.Р. Мусина*\*, *М.Ф. Галиханов*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
ул. Карла Маркса, 68, Казань, 420015 (Россия), e-mail: l.musina@yandex.ru*

Качество и безопасность продуктов питания, фармацевтических препаратов, парфюмерно-косметических товаров и химических веществ устанавливают повышенные требования к чистоте различных жидкостей, используемых при их производстве. Из многообразия фильтрующих материалов все большее предпочтение отдается фильтровальным видам бумаги и картона, поэтому решение проблемы по улучшению их эксплуатационных свойств представляется весьма интересным. В настоящей работе рассматривается возможность получения электретной фильтровальной бумаги и приводятся исследования по изучению электретных свойств и влиянию электретного эффекта на комплекс ее сорбционных и фильтрующих свойств. Установлено снижение скорости впитывания фильтровальной бумаги при электретировании на 20%, что связано с влиянием электрического поля бумаги на процессы сорбции воды. Выяснено, что время растекания воды по поверхности электретной фильтровальной бумаги больше на 25–80% по сравнению с исходными образцами, что обусловлено образованием энергетического барьера на поверхности бумаги, преодоление которого осуществляется с помощью движущей силы растекания. Установлено увеличение эффективности фильтрации испытуемых образцов при их электретировании. Это происходит за счет осаждения мелкодисперсных частиц на электретной фильтровальной бумаге благодаря силам кулоновского притяжения. Полученные положительные результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать электретную фильтровальную бумагу для использования при очистке парфюмерных жидкостей.

*Ключевые слова:* фильтровальная бумага, электретирование, парфюмерная жидкость, разделительная способность.

### **Введение**

Мировые темпы развития пищевой, химической, медицинской, нефтяной отраслей за последние годы достигли высоких результатов, что еще более актуализирует вопросы качества выпускаемой продукции. Особенно можно выделить парфюмерную отрасль, где важной задачей является обеспечение высокой степени очистки исходных парфюмерно-косметических продуктов. В зависимости от типа фильтруемой среды используют разные фильтрующие материалы, но, несмотря на имеющийся на рынке широкий модельный ряд фильтрационных установок, проблема достижения прозрачности и чистоты парфюмерных жидкостей по-прежнему остается весьма острой [1, 2].

Парфюмерная композиция состоит из базовой композиции душистых веществ, спирта, воды и красителей. Свежеприготовленная парфюмерная жидкость, как правило, имеет недостаточную степень чистоты, выраженную в виде осадка и помутнений от нерастворившихся и некоагулированных частиц композиций и балластных остатков, образующихся в результате различных физико-химических процессов между отдельными компонентами парфюмерных жидкостей при понижении концентрации спирта, взаимодействия компонентов с солями, попавшими вместе с водой, и по другим причинам [1, 2]. Осадки бывают мелкокристаллические, а также аморфные, в виде белковых или восковых образований. Количество посторонних включений сравнительно невелико, но многие из них трудно коагулируются и плохо осаждаются, что делает жидкости мутными [3]. Для устранения данных проблем в технологическом процессе производства парфюмерно-косметических продуктов используется метод фильтрации, который представля-

---

*Мусина Ляйсан Рафаиловна* – доцент кафедры химической технологии древесины,  
e-mail: l.musina@yandex.ru

*Галиханов Мансур Флоридович* – доктор технических наук, профессор, e-mail: mgalikhanov@yandex.ru

\* Автор, с которым следует вести переписку.

ет собой процесс разделения суспензий через пористую перегородку, способную пропускать жидкость, но задерживать взвешенные в ней частицы [4]. Фильтрация позволяет значительно улучшить внешний вид и качество производимой продукции.

Для фильтрации парфюмерно-косметических изделий применяются фильтры различных конструкций. В качестве фильтрующих перегородок в фильтрах применяются хлопчатобумажные, льняные и шерстяные ткани, верблюжье полотно, а также асбестовые, целлюлозные пластины, а в последнее время – пленки из перлона [5]. При этом известно, что самыми универсальными и распространенными фильтрующими материалами являются фильтровальные виды картона и бумаги, которые широко применяются в пищевой, химической, биотехнологической и фармацевтической промышленности. Однако отсутствие специально разработанных марок картона для очистки парфюмерных жидкостей не позволяет добиться требуемого уровня их прозрачности. Поэтому важно, чтобы фильтрующие целлюлозно-бумажные материалы создавались конкретно под каждый вид продукции, с учетом требований технологического процесса. Получение фильтровального материала с улучшенными эксплуатационными характеристиками возможно, например, модифицированием поверхности волокон или изменением его состава [6–8]. При этом важно соблюдение требования по высокой стойкости материалов в спиртовой среде и их механической прочности при воздействии давления, возникающего при пропускании фильтра, высокой проникающей способности при максимальном задержании удаляемых частиц, большом сопротивлении продавливанию, нетоксичности и др. [9].

В то же время широкое применение среди типов фильтрующих установок получили электретенные полимерные фильтры, которые по виду своего электретенного элемента подразделяются на фильтры с конструкционными электретенными деталями и с волокнистыми электретенными материалами. Электретенные волокнистые фильтры представляют собой слой заряженных тонких полимерных волокон, нанесенных на тканевую подложку или нетканое основание из скрепленных между собой более толстых полимерных волокон. Обычно фильтрующие волокнистые материалы применяются для очистки воздуха и различных газов от твердых частиц (пыли). Известны примеры использования электретенных фильтров для очистки воздуха от твердых частиц, от жидких аэрозольных включений и жидких сред от механических примесей, биозагрязнений и т.п. [10–13]. Принцип действия электретенных фильтров состоит в захвате заряженных частиц, притягиваемых к электретенному элементу фильтра кулоновскими силами, а также нейтральных частиц, которые приобретают в поле электрета наведенный заряд [14].

Начаты разработки по получению целлюлозно-бумажных материалов (гофрированного картона, мешочной бумаги) с электретенным эффектом, который способствует улучшению целого ряда свойств [15, 16].

Таким образом, целью настоящей работы явилось изучение влияния электретенного эффекта на комплекс свойств фильтровальной бумаги и оценка возможности ее применения для очистки парфюмерных жидкостей.

### **Экспериментальная часть**

В качестве объекта исследования была выбрана лабораторная фильтровальная бумага (ФБ) марки ФС-II (ГОСТ 12026-76).

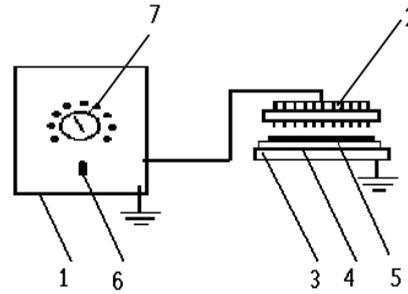
В качестве фильтра использовали парфюмерную жидкость, состоящую из 73% этилового спирта, 8% парфюмерной композиции и 19% воды (ГОСТ 31678-2012).

Электретенное состояние ФБ создавалось в униполярном коронном разряде при напряжениях  $U_{эл} = 15$  или 30 кВ и времени обработки  $\tau_{эл} = 30$  или 60 с (ЭФБ). Схема коронирующей установки представлена на рисунке 1. Часть образцов бумаги (ЭЛФБ) электретенировалась с применением лавсановой подложки, которая размещалась под бумагой на заземленном электроде коронатора (рис. 1, поз. 4).

Электретенные характеристики (потенциал поверхности  $V_э$ , напряженность электрического поля  $E$ , эффективная поверхностная плотность заряда  $\sigma_{эф}$ ) образцов измеряли ежедневно на измерителе параметров электростатического поля ИПЭП-1, принцип действия которого основан на методе периодического экранирования приемного электрода, находящегося на некотором расстоянии от поверхности электрета.

Оценку капиллярной впитываемости проводили методом Клемма (ГОСТ 12602-93), поверхностной впитываемости – капельным способом (ГОСТ 12603-67). Определение фильтрующей и разделительной способности бумаги проводилось по ГОСТ 7584-89.

Рис. 1. Схема коронирующей установки при электретировании с подложкой: 1 – генератор высокого напряжения, 2 – система коронирующих электродов, 3 – нижний электрод, 4 – лавсановая подложка, 5 – образец, 6 – тумблер включения-выключения генератора, 7 – регулятор подаваемого генератором напряжения



### Результаты и обсуждение

На первом этапе работы проводились исследования, направленные на создание электретной фильтровальной бумаги с высокими и стабильными электретными свойствами путем подбора параметров электретирования (времени и напряжения прикладываемого поля). Результаты исследований представлены в таблице 1.

Быстрый спад заряда электретов фильтровальной бумаги объясняется полярной природой основного ее компонента – целлюлозы. Электретирование в коронном разряде происходит за счет инжекции носителей зарядов в объем диэлектрика и удержание их на энергетических ловушках различной природы. В процессе деполяризации происходит перенос заряда к поверхности полимера и его релаксация, определяющиеся удельной объемной электропроводностью материала, которая у полярных материалов на несколько порядков выше, чем у неполярных [17].

Однако не совсем ясно, почему начальные значения электретных характеристик практически равны нулю. Скорее всего, дело в сквозных порах фильтровальной бумаги, позволяющих носителям заряда достигать нижнего электрода в процессе электретиования, «облетая» целлюлозные волокна бумаги. Для предотвращения этого процесса было проделано следующее: между нижним электродом и образцом бумаги была помещена лавсановая пленка толщиной 100 мкм (для каждого образца – новая). В этом случае вероятность инжекции носителей заряда в объем целлюлозных волокон существенно повышается. Проведенные эксперименты подтвердили данное предположение (табл. 1).

В случае использования лавсановой подложки начальные значения электретных свойств бумаги уже отличны от нулевых значений и достаточны для проведения сравнительного анализа. Из таблицы 2 видно, что наилучшими свойствами обладают образцы бумаги, электретируемые при напряжении  $U_{эл} = 30$  кВ в течение  $\tau_{эл} = 30$  с. Низкие значения времени и напряжения электретиования приводят к малым количествам носителей заряда, инжектируемых в материал. Высокие значения  $U_{эл}$  и  $\tau_{эл}$  обуславливают большую скорость деструктивных процессов в структуре целлюлозы, увеличивая количество энергетически мелких ловушек инжектированных носителей заряда, и возникновение состояний, благоприятных для пробоя диэлектрика. При этом в структуре фильтровальной бумаги могут возникать дополнительные сквозные поры. Это снижает значения  $V_3$ ,  $E$  и  $\sigma_{эф}$  бумаги (табл. 1).

Фильтровальная бумага по сравнению с другими видами целлюлозно-бумажных материалов отличается повышенной впитывающей способностью по отношению к различным жидкостям. Поэтому второй этап исследований был направлен на изучение впитываемости воды обычной фильтровальной бумаги и бумаги, обработанной в униполярном коронном разряде. Способность бумаги впитывать жидкость зависит как от свойств впитываемой жидкости, так и от свойств бумаги. Одним из важнейших свойств жидкости, оказывающих влияние на ее способность впитываться в бумагу, является скорость движения жидкости по капиллярам бумажного листа [18]. Результаты изучения капиллярной впитываемости образцов представлены в таблице 2.

Фильтровальная бумага относится к видам бумаги с повышенными гидрофильными свойствами. Капиллярная впитываемость определяется высотой подъема жидкости по капиллярам в вертикально установленной полоске бумаги, которая касается одним своим концом поверхности воды. В ходе исследований было установлено снижение скорости впитывания у образцов электретной фильтровальной бумаги на 20%. Наблюдаемое явление связано с влиянием электрического поля, которым обладает электретная бумага, на процессы впитывания воды – жидкости при проникновении в толщу листа необходимо совершить работу против сил электрического поля, что и способствует уменьшению высоты подъема жидкости.

Таблица 1. Электретные свойства фильтровальной бумаги через три часа после электретирирования

Условия электретирирования		Электретирированная без лавсановой подложки			Электретирированная с применением лавсановой подложки		
$U_{эл}$ , кВ	$\tau_{эл}$ , с	$V_{эл}$ , В	$E$ , В/м	$\sigma_{эф}$ , мкКл/м <sup>2</sup>	$V_{эл}$ , В	$E$ , В/м	$\sigma_{эф}$ , мкКл/м <sup>2</sup>
Без электретирирования		–	–	–	–	–	–
15	30	1	0	0	44	1,32	0,021
15	60	1	0,2	0	37	0,94	0,017
30	30	2	0,1	0,001	42	1,20	0,023
30	60	1	0	0,001	25	0,22	0,012

Таблица 2. Капиллярная и поверхностная впитываемость исходной бумаги и бумаг, обработанных в коронном разряде

Исследуемый образец	Капиллярная впитываемость, мм	Поверхностная впитываемость, с
ФБ	34	222
ЭФБ	27	278
ЭЛФБ	25	404

Уменьшение скорости впитывания у образцов бумаги, электретирированных с лавсановой подложкой, объясняется усилением действия электрического поля и, как следствие, усилением проявления гидрофобных свойств поверхности бумаги по отношению к ее смачиваемости водой.

Поскольку обработанные в коронном разряде образцы бумаги показали специфическое поведение по отношению к капиллярному проникновению воды, было интересным определить, как меняется впитываемость при поверхностном проникновении жидкости, когда растекание капли воды по поверхности бумаги обусловлено движением жидкости по внутриволоконным путям. Видно (табл. 2), что и по данной методике у электретных образцов наблюдается усиление гидрофобных свойств поверхности. Так, время растекания воды по поверхности образцов ЭФБ больше на 25%, а для ЭЛФБ время растекания воды больше на 81% по сравнению с образцами исходной фильтровальной бумаги. Представленные результаты подтверждают вышеописанный механизм изменения характера взаимодействия воды с образцами бумаги при появлении электрического поля. Увеличение времени растекания капли воды по поверхности заряженных образцов обусловлено образованием энергетического барьера, на преодоление которого расходуется движущая сила растекания. Энергетический барьер представляет собой поверхностное натяжение между порами бумаги вследствие увеличения электретирированного потенциала ее поверхности. Энергетический барьер способствует также экранированию числа открытых пор с поверхности и, как следствие, уменьшению впитываемости бумаги. Подобную картину наблюдали и ранее при изучении растекания жидкостей по поверхности полимерных пленок и целлюлозно-бумажных материалов, обработанных в электрическом поле [10, 16, 19–21].

Дальнейшая работа сводилась к анализу эффективности использования полученных электретных образцов фильтровальной бумаги в качестве фильтрующих слоев. Эффективность материалов оценивалась по двум основным показателям – фильтрующей и разделительной способности материалов. При анализе полученных данных по фильтрующей способности бумаги было установлено увеличение времени прохождения воды определенного объема через испытываемые образцы – на 23% для электретирированных образцов бумаги и на 38% – для образцов бумаги, электретирированных с помощью лавсановой подложки (рис. 2).

Наблюдаемое явление увеличения сопротивления скорости протекания фильтрата связано с влиянием электрического поля электрета на процессы диффузии, происходящие при прохождении фильтрата через объем бумаги. Замедление диффузионных процессов напрямую связано с протеканием вышеописанных сорбционных процессов.

Одной из наиболее важных характеристик фильтрующей бумаги является тонкость фильтрации и чистота получаемого фильтрата. Тонкость фильтрации выражается размером и количеством наиболее крупных частиц, которые пропускает данный материал. Тонкость фильтрации зависит в основном от структурных характеристик: величины удельной поверхности, размера пор фильтровального материала и от электрокинетического потенциала поверхности его волокон [18, 22]. Поэтому на основе положительных результатов по изучению сорбционных, диффузионных процессов взаимодействия воды и электретирированной бумаги были выдвинуты предположения о возможности улучшения задерживающей способности фильтровальной бумаги при электретирировании.

Изучение указанного свойства основывалось на методе фильтрации парфюмерной жидкости через бумажный фильтр и последующей визуальной оценке чистоты фильтрата. Загрязнения представляли собой частицы нерастворившейся парфюмерной композиции и волокон сульфатной листовенной целлюлозы. При определении разделительной способности предполагалось, что у жидкости при прохождении через всю толщу обычной фильтровальной бумаги будут улавливаться грубые механические включения, волокна. Электретирование фильтровальной бумаги будет способствовать улавливанию и мелкодисперсных частиц. На рисунке 3 показаны результаты определения эффективности исследуемых фильтрующих материалов. Видно, что имеет место снижение количества твердых включений в составе фильтрата по сравнению с исходной загрязненной жидкостью в несколько десятков раз.

Улавливание частиц фильтровальной бумагой происходит благодаря ее особенностям: она имеет высокопористую структуру, большое количество свободных мелких и длинных волокон, образующих за счет переплетения между собой своего рода «паутинку», тем самым создавая барьер для прохождения твердых частиц (рис. 4).

Осаждение мелкодисперсных частиц на образцах электретной фильтровальной бумаги происходит благодаря силам кулоновского притяжения. При этом возможность распространения поля на относительно большие расстояния позволяет увеличить эффективность работы фильтрующего материала.

Обнаруженное явление повышения разделительной способности было отмечено и при изучении полимерных нетканых полотен, электретированных во внешнем поле [17].

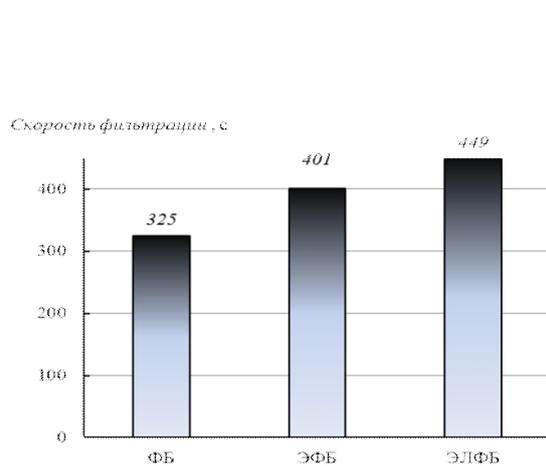


Рис. 2. Результаты испытаний на определение скорости фильтрации исходной бумаги и бумаги, обработанной в коронном разряде и с применением подложки

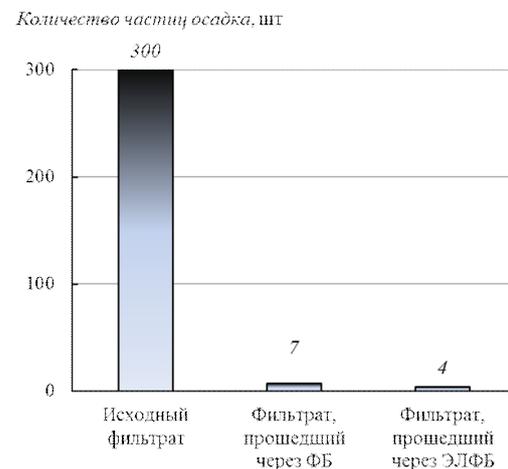
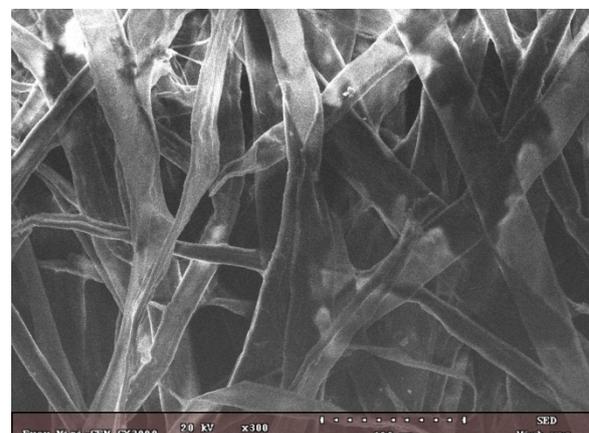


Рис. 3. Результаты разделительной способности исходной бумаги и бумаги, обработанной в коронном разряде

Рис. 4. Фотографии поверхности фильтровальной бумаги с увеличением  $\times 300$



Таким образом, проведенные исследования показали, что электретирование фильтровальной бумаги может позволить достичь требуемой степени очистки парфюмерных жидкостей. Применение в составе промышленных фильтров фильтровальной бумаги с электретным эффектом может стать удачным техническим решением, способствующим обеспечению качества выпускаемых парфюмерных продуктов. Полученные в ходе работы положительные результаты исследований дают предпосылки для проведения дальнейших работ в области достижения высоких показателей скорости фильтрации, степени очистки и увеличения ресурса работы фильтровальных видов целлюлозно-бумажных материалов при их электретировании.

### *Список литературы*

1. Башура А.Г., Половко Н.П., Гладух Е.В. и др. Технология косметических и парфюмерных средств. Харьков, 2002. 272 с.
2. Тыщенко Е.А., Ермакова В.П., Позняковский В.М. Товароведение однородных групп непродовольственных товаров: парфюмерно-косметические товары. М., 2016. 393 с.
3. Каспаров Г.Н. Основы производства парфюмерии и косметики. М., 1988. 287 с.
4. Вобликова Т.В., Шлыков С.Н., Пермяков А.В. Процессы и аппараты пищевых производств. Ставрополь, 2013. 212 с.
5. Кривова А.Ю., Паронян В.Х. Технология производства парфюмерно-косметических продуктов. М., 2009. 668 с.
6. Манукян Р.В. Фильтрующий картон с низкими адсорбционными свойствами // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2015. № 2. С. 58–59.
7. Ле Тхань Тхань, Зайцев Н.К., Георгиев Д., Токмачев М.Г., Ферапонтов Н.Б. Влияние природы фильтрующей насадки на разделение эмульсий вода – нефть. II. Исследование особенностей разделения эмульсий на реакторах с насадками на основе целлюлозы // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 3. С. 7–12.
8. Смолин А.С., Дубовый В.К., Комаров Д.Ю., Канарский А.В. Пенный способ формирования фильтровальной бумаги на целлюлозной основе // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 15. С. 86–88.
9. Коптюх Л. Картон фильтрует // Картон и гофрокартон. 2006. Т. 21. № 1. С. 54–59.
10. Kestelman V.N., Pinchuk L.S., Goldade V.A. Electrets in Engineering: Fundamentals and Applications, Kluwer Acad. Publ.: Boston-Dordrecht-London, 2000. 281 p.
11. Кочервинский В.В., Воробьева Г.А., Шкинев В.М. Электретное состояние в пористых полимерных мембранах и его влияние на процессы удерживания полиэлектролитов // Журнал прикладной химии. 2005. Т. 68. №7. С. 1111–1115.
12. Kravtsov A.G., Gol'dade V.A. Optimization of the electret state of polymer fibres // Fibre Chemistry. 2001. Vol. 33. N3. Pp. 189–192.
13. Кравцов А.Г. Способ анализа структуры и свойств регенерированных полимерных волокнистых фильтроматериалов для тонкой очистки воздуха // Материаловедение. 2001. № 4. С. 47–51.
14. Кравцов А.Г., Brünig H. Электретный эффект в волокнах на основе полипропилена, обработанных коронным разрядом // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 2000. Т. 42. № 6. С. 1074–1077.
15. Мусина Л.Р., Галиханов М.Ф. Применение поверхностной обработки и электретирования для увеличения показателей качества гофрированного картона // Химия растительного сырья. 2012. № 3. С. 189–192.
16. Perepelkina A.A., Galikhanov M.F., Musina L.R. Effect of unipolar corona discharges on properties of pulp-and-paper materials // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2015. Vol. 51. N 2. Pp. 138–142.
17. Sessler G. and Gerhard-Multhaupt R. Electrets: 3<sup>rd</sup> ed., Laplacian Press, Morgan Hill, California, USA, 1999.
18. Фляте Д.М. Свойства бумаги. М., 1986. 680 с.
19. Кравцов А.Г. О влиянии электретного эффекта в полимерных волокнистых материалах на капиллярное проникновение жидкостей // Материаловедение. 2001. № 12. С. 8–11.
20. Перепелкина А.А., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р. Модификация бумаги в целях повышения ее эксплуатационных свойств // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. № 6. С. 129–134.
21. Vlaeva I., Yovcheva T., Viraneva A., Kitova S., Exner G., Galikhanov M. and Guzhova A. Contact angle analysis of corona treated polypropylene films // J. Phys.: Conference Series. 2012. Vol. 398(1). 012054
22. Канарский А.В. Фильтровальные виды бумаги и картона для промышленных технологических процессов. М.: Экология, 1991. 272 с.

*Поступило в редакцию 30 января 2017 г.*

*После переработки 21 марта 2017 г.*

Musina L.R.\*, Galikhanov M.F. THE EFFECT OF CORONA CHARGING ON SORPTION AND FILTERING PROPERTIES OF THE FILTER PAPER

Kazan National Research Technological University, ul. Karla Marxa, 68, Kazan, 420015 (Russia),  
e-mail: l.musina@yandex.ru, mgalikhanov@yandex.ru

The quality and safety of food, pharmaceuticals, cosmetic products and chemicals set high requirements to the purity of various fluids used in their production. From the variety of filtering materials, more preference is given to the types of filter paper and cardboard, so the solution to improve their operational properties seems to be very interesting. In this work, we consider the possibility of obtaining electret filter paper and present the research based on the studying of the electret properties and the influence of the electret effect on the complex of its sorption and filtering properties. We found that the decrease in the rate of absorption of filter paper in the process of corona charging by 20% connected with the influence of the electric field of the paper on the sorption processes of water. It was found that the time of the spreading of water on the surface of the electret filter paper more on 25-80% in comparison with the initial samples due to the formation of an energy barrier on the surface of the paper, the overcoming of which is carried out by using the driving force of spreading. We found the increase in filtration efficiency of test specimens in the process of corona charging. It happens due to the deposition of fine particles on electret filter paper because of the force of Coulomb attraction. The positive results of the conducted research allow recommending electret filter paper for use in the purification of perfume liquids.

*Keywords:* filter paper, corona charging, perfume liquid, separating power.

### References

1. Bashura A.G., Polovko N.P., Gladukh E.V. i dr. *Tekhnologiya kosmeticheskikh i parfumernykh sredstv*. [Technology of cosmetic and perfumery means]. Khar'kov, 2002, 272 p. (in Russ.).
2. Tyshchenko E.A., Erdakova V.P., Pozniakovkii V.M. *Tovarovedenie odnorodnykh grupp neprodovol'stvennykh tovarov: parfumerno-kosmeticheskie tovary*. [Commodity research of homogeneous groups of non-food products: perfumery and cosmetics]. Moscow, 2016, 393 p. (in Russ.).
3. Kasparov G.N. *Osnovy proizvodstva parfumerii i kosmetiki*. [Basics of Perfumery and Cosmetics Production]. Moscow, 1988, 287 p. (in Russ.).
4. Voblikova T.V., Shlykov S.N., Permiakov A.V. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. [Processes and devices of food production]. Stavropol', 2013, 212 p. (in Russ.).
5. Krivova A.Iu., Paronian V.Kh. *Tekhnologiya proizvodstva parfumerno-kosmeticheskikh produktov*. [Technology of production of perfumery and cosmetic products]. Moscow, 2009, 668 p. (in Russ.).
6. Manukian R.V. *Tseliuloza. Bumaga. Karton*, 2015, no. 2, pp. 58–59. (in Russ.).
7. Le Tkhan' Tkhan', Zaitsev N.K., Georgiev D., Tokmachev M.G., Ferapontov N.B. *Zashchita okruzhaiushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2012, no. 3, pp. 7–12. (in Russ.).
8. Smolin A.S., Dubovyi V.K., Komarov D.Iu., Kanarskii A.V. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 15, pp. 86–88. (in Russ.).
9. Koptiukh L. *Karton i Gofrokarton*, 2006, vol. 21, no. 1, pp. 54–59. (in Russ.).
10. Kestelman V.N., Pinchuk L.S., Goldade V.A. *Electrets in Engineering: Fundamentals and Applications*, Kluwer Acad. Publ.: Boston-Dordrecht-London, 2000, 281 p.
11. Kochervinskii V.V., Vorob'eva G.A., Shkinev V.M. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2005, vol. 68, no. 7, pp. 1111–1115. (in Russ.).
12. Kravtsov A.G., Gol'dade V.A. *Fibre Chemistry*, 2001, vol. 33, no. 3, pp. 189–192.
13. Kravtsov A.G. *Materialovedenie*, 2001, no. 4, pp. 47–51. (in Russ.).
14. Kravtsov A.G., Brünig H. *Vysokomolekuliarnye soedineniya. Ser. B.*, 2000, no. 42, no. 6, pp. 1074–1077. (in Russ.).
15. Musina L.R., Galikhanov M.F. *Khimiya rastitel'nogo syr'ia*, 2012, no. 3, pp. 189–192. (in Russ.).
16. Perepelkina A.A., Galikhanov M.F., Musina L.R. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2015, vol. 51, no. 2, pp. 138–142.
17. Sessler G., Gerhard-Multhaupt R. *Electrets: 3<sup>rd</sup> ed.*, Laplacian Press, Morgan Hill, California, USA, 1999.
18. Fliate D.M. *Svoistva bumagi*. [Paper Properties]. Moscow, 1986, 680 p. (in Russ.).
19. Kravtsov A.G. *Materialovedenie*, 2001, no. 12, pp. 8–11. (in Russ.).
20. Perepelkina A.A., Galikhanov M.F., Musina L.R. *Izvestiya vuzov, Lesnoi zhurnal*, 2013, no. 6, pp. 129–134. (in Russ.).
21. Vlaeva I., Yovcheva T., Viraneva A., Kitova S., Exner G., Galikhanov M. and Guzhova A. *J. Phys.: Conference Series*, 2012, vol. 398(1), 012054.
22. Kanarskii A.V. *Fil'troval'nye vidy bumagi i kartona dlia promyshlennykh tekhnologicheskikh protsessov*. [Filtering types of paper and cardboard for industrial processes]. Moscow, 1991, 272 p. (in Russ.).

Received January 30, 2017

Revised March 21, 2017

\* Corresponding author.

