

УДК 676.017

В.К. Дубовый¹, Д.П. Маркеев², Н.В. Сысоева³¹С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров²ОАО Гатчинский опытный завод бумагоделательного оборудования³Северный (Арктический) федеральный университет

Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, доцент С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 150 печатных работ в области технологии бумаги и картона.

E-mail: dubovy2004@mail.ru



Маркеев Денис Петрович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Воронежский лесотехнический институт, в 2003 г. Мурманский государственный технический университет, генеральный директор ОАО «Гатчинский опытный завод бумагоделательного оборудования».



Сысоева Наталья Владимировна родилась в 1976 г., окончила в 1999 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета. Имеет около 50 печатных работ в области совершенствования технологии получения бумаги, картона и подобных листовых материалов из растительных и минеральных волокон.

Тел.: 8 (8182) 65-00-92



ВЛИЯНИЕ МАССЫ 1 м² И ПЛОТНОСТИ НА СВОЙСТВА БУМАГОПОДОБНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Установлено, что увеличение массы 1 м² и плотности, а также снижение диаметра волокон позволяет в 2–5 раз снизить воздухопроницаемость, в 3–4 раза повысить прочность и на 3–4 порядка уменьшить коэффициент проскока частиц масляного тумана. Показано, что в этих условиях, не меняя композиции, можно получить композиты с широким спектром фильтрующих свойств и прочности.

Ключевые слова: бумага, минеральные волокна, минерально-волоконистые композиты, фильтровальные материалы, плотность, размеры минеральных волокон, воздухопроницаемость, коэффициент проскока, прочность.

Одной из основных общемировых тенденций развития ЦБП является увеличение выпуска печатных и тароупаковочных видов бумаги и картона на 3,0...4,5 % в год при средних темпах прироста других видов продукции на 1,5...2,0 % в год. При этом значительно более высокими темпами (на 10...15 % в год) возрастает производство бумагоподобных материалов технического назначения из химических и особенно минеральных волокон.

Это объясняется тем, что прогресс в наиболее наукоемких отраслях промышленности (авиакосмической,

электронной, атомной, оборонной), а также в области нанотехнологий невозможен без применения минерально-волоконистых композитов, изготовленных методами бумажного производства. Эти материалы обладают уникальными свойствами, принципиально недостижимыми у бумаги и картона из традиционного растительного сырья. Прежде всего к ним относятся высокие био-, термо- и хемостойкость, негорючесть, очень низкая плотность.

Как и во всем мире, в последние годы и в России значительно увеличилось производство стекловолоконистых

композитов, изготавливаемых на бумагоделательных машинах (БДМ) с наклонным сеточным столом типа Nowo-former немецких фирм «Pama», «Bruderhaus» и др. Эти композиты служат основой для изготовления мягкой кровли нового поколения, обладающей высокой долговечностью (более 25 лет) и другими преимуществами по сравнению с традиционными укрывными материалами, например толью. Однако за рубежом, наряду с указанными материалами, быстро развивается производство фильтровальных, тепло- и шумоизоляционных материалов на основе различных минеральных волокон. В нашей стране, в силу ряда причин (отсутствие на предприятиях ЦБП необходимого оборудования, технологий производства, высокой стоимости и др.), эти материалы пока не изготавливаются, хотя в связи с планируемыми диверсификацией и модернизацией многих отраслей отечественной промышленности они бы нашли широкое применение.

Для сверхтонкой очистки воздуха наиболее актуальной является разработка фильтровальных материалов из минеральных волокон с использованием неорганического связующего. Технология и факторы, влияющие на свойства фильтровальных видов бумаги и картона из природных волокон, достаточно хорошо изучены и известны [2, 4], однако информации о технологии и факторах, влияющих на свойства минерально-волоконистых фильтровальных композитов, крайне мало. Немногочисленные работы в этой области методически разобщены, а выводы авторов противоречивы.

Фильтровальные материалы, получаемые методами бумажного производства, относятся к объемным, независимо от природы исходного сырья. Поэтому на эффективность работы и срок

службы фильтров большое влияние должны оказывать масса 1 м^2 и плотность фильтровального материала [3]. П. Уайт [5] прямо указывает, что «наилучшим объемным фильтром для улавливания аэрозолей является стог сена».

В связи с этим было решено изучить влияние массы 1 м^2 и плотности на свойства фильтровальных материалов из различных минеральных волокон, имеющих разные геометрические размеры.

В качестве исходного сырья использовали стеклянные штапельные волокна от грубых (диаметр 15,0 мкм) до микротонких (0,2 мкм) при длине исходных волокон 5...7 мм, а также базальтовые и каолиновые волокна (2,0 и 0,8 мкм). Базальтовое волокно изготовлено центробежным способом на предприятиях Украины, стеклянное и каолиновое волокна – методом раздува горячими газами расплавленного стекла. Выбор этих волокон обусловлен их доступностью и значительным различием химического состава и физических свойств, в частности температуры плавления. При двухстадийном производстве фильтровальных материалов требуется обеспечить, главным образом, фильтрующие свойства бумаги-основы, так как повышение ее прочности достигается во второй стадии, например за счет пропитки связующими или другой обработкой на специальном оборудовании. При планируемом одностадийном производстве указанных материалов на БДМ, помимо фильтрующих свойств, бумаге необходимо придать требуемую прочность.

Поскольку композиты из минеральных волокон имеют низкую прочность, в качестве неорганического связующего использовали полиядерные комплексы, получаемые из сульфата алюминия при pH 8,5...9,0 непосред-

ственно в гидросуспензии минеральных волокон перед отливом образцов. Расход сульфата алюминия в пересчете на его оксид составлял 40 % от массы волокна. Именно эти условия рекомендованы в работе [1] для значительного увеличения прочности минерально-волоконистых композитов. Одновременно неорганическое связующее позволяет полностью использовать их высокую термо- и огнестойкость, что важно при работе фильтров в сложных производственных условиях.

Лабораторные образцы из минеральных волокон изготавливали на листоотливном аппарате ЛОА-2 с прессованием между сукном и сушкой на горке или цилиндре при температуре $t = 125$ °С. Перед отливом минеральные волокна размещали на быстроходной мешалке, добавляли сульфат алюминия, а для создания требуемого рН 8,5...9,0 – 1н раствор едкого натра.

В *первой серии* опытов изучали влияние массы 1 м^2 на фильтрующие и прочностные свойства образцов из изучаемых минеральных волокон. Массу 1 м^2 изменяли от 100 до 500 г. Известно [2, 4], что фильтрующие свойства бумаги из растительных волокон сильно зависят от ее плотности, поэтому плотность образцов поддерживали постоянной, на уровне $(0,25 \pm 0,02) \text{ г/см}^3$. Исходя из технических возможностей ЛОА-2 и для исключения влияния способа изготовления на исследуемые параметры образцы отливали двухслойными.

Подготовку к испытаниям и определение фильтрующих и прочностных свойств образцов при изменении массы 1 м^2 осуществляли по требованиям соответствующих стандартов. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что увеличение

массы 1 м^2 и уменьшение диаметра стеклянных и каолиновых волокон закономерно приводят к снижению воздухопроницаемости и коэффициента проскока частиц масляного тумана, а также к повышению прочности образцов. Более детальный количественный анализ наблюдаемых закономерностей позволяет установить следующее. При увеличении массы 1 м^2 образцов в 5 раз воздухопроницаемость понижается всего в 1,5–2 раза. Примерно на эту величину воздухопроницаемость образцов падает и при уменьшении диаметра волокон от 15,0 до 0,2 мкм. Необходимо отметить, что коэффициент проскока K аэрозольных частиц снижается в указанных условиях практически на три порядка – от $10 \cdot 10^{-6}$ до $13 \cdot 10^{-3}$ %. Такого повышения задерживающей способности при изменении изучаемых факторов не наблюдается у фильтровальных материалов из растительных волокон, предназначенных для очистки воздуха в машиностроении [2, 4]. Видимо, это объясняется различием в механизмах задержания аэрозольных частиц фильтрами из минеральных волокон и значительно более крупных частиц пыли фильтрами из растительных волокон.

При изменении указанных факторов прочность достигала максимального (0,58 МПа) значения у образцов с массой 1 м^2 500 г из микро-тонких стеклянных волокон, минимального (0,18 МПа) – у образцов массой 1 м^2 100 г из грубых стеклянных волокон, т. е. она повышалась почти в 4 раза. При этом решающий вклад в это изменение внесло увеличение массы 1 м^2 образцов от 100 до 500 г, значительно меньше повлияло снижение диаметра волокон от 15,0 до 0,2 мкм.

Отдельно рассмотрим результаты испытаний образцов из базальтового волокна, полученного более дешевым

Таблица 1

**Влияние массы 1 м² на свойства бумагоподобных композитов
из различных минеральных волокон**

Минеральные волокна (диаметр)	Масса 1 м ² , г	Воздухопроницаемость (при ΔP = 2 мбар), л/(м ² ·с)	Коэффициент проскока K·10 ⁻⁶ , %	Сопротивление разрыву, МПа
Стеклённые				
Грубые (15,0 мкм)	107	2250	1300	0,18
	205	1940	980	0,28
	308	1560	680	0,33
	410	1390	460	0,38
	510	1180	240	0,45
Супертонкие (2,0 мкм)	100	1620	143	0,24
	208	1320	135	0,26
	315	1180	100	0,38
	412	985	65	0,43
	508	850	37	0,49
Ультратонкие (0,7 мкм)	102	1320	100	0,28
	200	1100	85	0,38
	301	950	50	0,44
	400	865	30	0,47
	503	790	22	0,50
Микротонкие (0,2 мкм)	105	1110	95	0,26
	206	988	75	0,40
	309	860	42	0,45
	404	790	24	0,53
	500	748	10	0,58
Каолиновые				
Супертонкие (2,0 мкм)	103	1410	125	0,21
	212	1280	108	0,25
	298	1000	85	0,34
	409	885	59	0,42
	509	820	30	0,46
Ультратонкие (0,8 мкм)	95	1250	98	0,28
	211	1190	89	0,33
	312	911	60	0,44
	415	866	28	0,55
	499	800	24	0,56
Базальтовые				
Супертонкие (2,0 мкм)	98	650	380	0,07
	195	600	312	0,12
	310	530	295	0,15
	414	430	220	0,20
	512	390	200	0,25
Супертонкие очищенные (2,0 мкм)	108	1210	160	0,18
	200	1000	140	0,20
	300	880	111	0,22
	400	820	72	0,34
	505	740	48	0,40

центробежным способом, что приводит к образованию большого (до 30 %) количества так называемых «корольков». Как свидетельствуют данные табл. 1, эти включения существенно снижают фильтрующие и прочностные свойства образцов. После удаления вручную этих образований фильтрующие свойства и прочность образцов из супертонких базальтовых волокон, как и характер их изменения с ростом массы 1 м^2 , становятся аналогичными образцам из супертонких стеклянных и

каолиновых волокон. Поскольку ручной способ очистки базальтовых волокон не приемлем для производства, в дальнейших опытах их не использовали.

Во *второй серии* опытов изучали влияние изменения плотности образцов на их фильтрующие и прочностные свойства. Масса 1 м^2 составляла 200 г. Минимально возможная плотность получена путем сушки отливок на горке при $t = 125 \text{ }^\circ\text{C}$ и поднятой прижимной сетке. Результаты испытаний образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Влияние плотности на свойства бумагоподобных композитов
из различных минеральных волокон**

Минеральные волокна (диаметр)	Плотность, г/см^3	Воздухопроницаемость (при $\Delta P = 2$ мбар), $\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Коэффициент проскока $K \cdot 10^{-3}$, %	Сопротивление разрыву, МПа
Стелянные				
Грубые (15,0 мкм)	0,05	7 520	8 560 000	0,08
	0,10	5 600	650 800	0,14
	0,16	3 540	42 500	0,18
	0,22	2 310	2 990	0,20
	0,26	1 810	890	0,26
Супертонкие (2,0 мкм)	0,06	5 990	800 000	0,10
	0,12	4 350	93 800	0,15
	0,15	2 200	11 900	0,19
	0,20	1 550	9 500	0,26
	0,28	1 300	130	0,28
Ультратонкие (0,7 мкм)	0,07	5 300	120 500	0,10
	0,10	4 110	50 900	0,15
	0,15	2 000	6 000	0,22
	0,24	1 490	960	0,25
	0,26	1 190	85	0,28
Микротонкие (0,2 мкм)	0,05	4 950	90 100	0,11
	0,11	3 820	12 500	0,13
	0,15	2 120	9 500	0,27
	0,22	2 000	158	0,34
	0,27	1 900	64	0,42
Каолиновые				
Супертонкие (2,0 мкм)	0,07	5 550	604 000	0,10
	0,12	4 280	120 300	0,17
	0,17	2 710	30 000	0,20
	0,23	1 680	9 800	0,26
	0,25	1 200	100	0,32
Ультратонкие (0,8 мкм)	0,06	4 240	98 050	0,12
	0,12	3 300	25 000	0,18
	0,17	2 200	9 500	0,22
	0,21	1 350	760	0,29
	0,25	1 000	83	0,36

Проанализировав результаты, приведенные в табл. 2, необходимо отметить, что повышение плотности образцов существенно увеличивает их прочность с одновременным снижением воздухопроницаемости и коэффициента проскока. Уменьшение диаметра волокон от 15,0 до 0,2 мкм приводит к незначительному, примерно на 20 %, повышению плотности образцов, высушенных без давления. Однако фильтрующие свойства и прочность отливок значительно больше зависят от диаметра волокон. Так, воздухопроницаемость этих образцов снижается в 1,8 раза, коэффициент проскока уменьшается почти на порядок, а прочность повышается на 25 %.

Повышение плотности образцов до 0,25...0,27 г/см³ привело к снижению воздухопроницаемости в 4–5 раз и коэффициента проскока на 3–4 порядка при одновременном увеличении прочности в 3–4 раза.

Обобщая полученные в ходе экспериментов закономерности, отметим следующее.

1. Показано, что, изменяя массу 1 м², плотность, диаметр и природу минеральных волокон, можно получить бумагоподобные композиты с широким спектром фильтрующих свойств и прочности.

2. Изменение массы 1 м² от 100 до 500 г снижает воздухопроницаемость в 1,5–2 раза, коэффициент проскока частиц масляного тумана – на 3 порядка при возрастании прочности образцов почти в 4 раза.

3. Повышение плотности отливок от 0,50...0,70 до 0,25...0,27 г/см³ снижает воздухопроницаемость в 4–5 раз, коэффициент проскока на 3–4 порядка при увеличении прочности образцов в 3–4 раза.

Таким образом, по эффективности воздействия на изучаемые свойст-

ва переменные факторы в порядке убывания можно расположить в следующей ряд: плотность, масса 1 м², диаметр волокна, природа волокна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дубовый В.К.* Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: Дис. ... д-ра техн. наук. СПб, 2006. 370 с.
2. *Канарский А.Н.* Фильтровальные виды бумаги и картона. М.: Экология, 1991. 272 с.
3. *Кириш А.А.* Моделирование и расчет аэрозольных волокнистых фильтров: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М., 1977. 33 с.
4. *Пузырев С.А.* Бумага и картон как фильтрующие материалы. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 86 с.
5. *Уайт П., Смит С.* Высокоэффективная очистка воздуха. М.: Атомиздат, 1967. 312 с.

Поступила 18.04.2011

V.K. Dubovy¹, D.P. Markeev², N.V. Sysoeva³

¹ Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

²JSC Gatchina Pilot Plant of Paper-making Equipment

³Northern (Arctic) Federal University

Effect of 1 m² Mass and Density on Properties of Papery Filter Materials from Different Mineral Fibers

It is established that increase of 1m² mass and density as well as decrease of fiber diameter allows to decrease air permeability in 2 – 5 times, increase strength in 3 – 4 times and decrease the particles overshoot coefficient of oil mist by 3 – 4 units. It is shown that it is possible to get composites with broad spectrum of filtering properties and strength under these conditions without changing composition.

Keywords: paper, mineral fibers, mineral-fiber composites, filter materials, density, mineral fibers size, air permeability, overshoot coefficient, strength.