

УДК 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИИ СЕПАРАТОРНОЙ БУМАГИ  
ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И ВПИТЫВАЮЩЕЙ  
СПОСОБНОСТИ**

*Н.В. Щербак<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.*

*Е.В. Дубовой<sup>2</sup>, инж.*

*М.А. Лоренгель<sup>2</sup>, асп.*

*А.С. Смолин<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com, smolin@gturp.spb.ru

Исследовано влияние стеклянных волокон разных марок и мерсеризованной целлюлозы в композиции сепараторной бумаги для аппаратов охлаждения воздуха на прочность при растяжении и капиллярную впитываемость. На первом этапе проведена оценка изменения этих показателей при варьировании доли стеклянных волокон, отличающихся номинальным диаметром (0,1; 0,25; 0,4; 0,6 мкм). В лабораторных условиях получены одно-, двух-, трех- и четырехкомпонентные образцы. Содержание волокон в композиции варьировали в диапазоне от 0 до 100 % с шагом 20 %. Установлено, что уровень прочности всех полученных образцов низкий, не превышает 1,2 МПа. Показана возможность повышения прочности при растяжении путем снижения доли стеклянных волокон с номинальным диаметром 0,6 мкм. Для получения максимальной прочности доля волокон с номинальным диаметром более 0,4 мкм не должна превышать 20 %. Выявлена значимая корреляция между пределом прочности при растяжении и капиллярной впитываемостью образцов из стеклянных волокон независимо от их номинального диаметра. Максимальное повышение прочности при растяжении приводит к снижению на 30 % капиллярной впитываемости сепараторной бумаги. На втором этапе изучено влияние добавки мерсеризованной целлюлозы на изменение прочности и капиллярной впитываемости сепараторной бумаги. Выявлено поступательное повышение прочности сепараторной бумаги при добавке мерсеризованной целлюлозы в композицию стекловолокна номинальным диаметром 0,25 мкм. Например, добавка 20 % мерсеризованной целлюлозы приводит к росту прочности образцов в 2 раза при снижении капиллярной впитываемости на 30 %. Увеличение прочности при сохранении капиллярной впитываемости на требуемом уровне возможно при добавке мерсеризованной целлюлозы не более 10 %. Результат проведенных исследований позволяет направленно регулировать композицию по волокну для получения сепараторной бумаги с уровнем свойств, необходимым для изготовления испарительных элементов в аппаратах охлаждения воздуха.

*Ключевые слова:* стеклянное волокно, сепараторная бумага, мерсеризованная целлюлоза, предел прочности при растяжении, капиллярная впитываемость.

---

*Для цитирования:* Щербак Н.В., Дубовой Е.В., Лоренгель М.А., Смолин А.С. Моделирование композиции сепараторной бумаги из минерального и растительного сырья для повышения прочности и впитывающей способности // Лесн. журн. 2018. № 1. С. 120–129. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120

*Введение*

Глобальное потепление, происходящее в последние десятилетия, ставит перед человечеством задачи, связанные с разработкой инновационных энерго-сберегающих экологически безопасных технологий охлаждения воздуха для обеспечения нормальных условий работы и отдыха людей, а также эксплуатации оборудования.

Современные требования к технологиям охлаждения воздуха: возможность широкомасштабного, массового применения устройств охлаждения; организация работы по энергосберегающему режиму; экологическая безопасность; улучшение качества вырабатываемого охладителями воздуха.

Изучение этих требований со всей очевидностью показывает, что удовлетворяют им только охладители, использующие не обычный цикл тепловой машины (обратный термодинамический цикл, характерный, например, для фреоновых кондиционеров), а природные источники холода. Наиболее удобной формой «природного потенциала охлаждения» является поглощение тепла при испарении воды, что, прежде всего, связано с исключительно высоким значением скрытой теплоты испарения, общедоступностью и экологической безопасностью этого вещества. Особенность данной технологии, отличающей ее от близких с технологической точки зрения подходов, – пластинчатая конструкция теплообменных аппаратов без применения верхнего полива (орошения) испаряющей поверхности [15, 16]. В связи с этим появилась необходимость создания принципиально нового капиллярно-пористого материала, обладающего качественно более высоким уровнем эксплуатационных свойств [20].

Одним из перспективных микропористых материалов для картриджей в аппаратах охлаждения воздуха прямым испарением воды является бумага на основе стеклянных волокон. Основные требования, предъявляемые к этому материалу: высокая капиллярная впитываемость и необходимая механическая прочность при сохранении водо- и биостойкости.

Сепараторная бумага из штапельных стеклянных волокон разных марок характеризуется невысокой прочностью [1–3, 9–12, 14], но, чтобы ее использовать в качестве высокопористых испарительных элементов в аппаратах охлаждения воздуха, необходимо найти оптимальную композицию бумаги по волокну, обеспечивающую достаточную прочность и максимально возможную капиллярную впитываемость.

Цель работы – установление закономерностей влияния варьирования содержания стеклянных волокон разных марок и мерсеризованной целлюлозы на прочность при растяжении и капиллярную впитываемость сепараторной бумаги.

*Объекты и методы исследования*

Работы проводили на оборудовании инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова. На основе анализа ранее полученных данных о влиянии диаметра стеклянных волокон на свойства бумагоподобных композиционных материалов [4, 8, 10, 13], на первом этапе была составлена схема изменения композиционного состава с использованием стеклянных волокон четырех марок: НТВ-0,1 – нанотонкие (номинальный диаметр 0,1 мкм); МТВ-0,25 и МТВ-0,4 – микротонкие

(соответственно 0,25 и 0,4 мкм); УТВ-0,6 – ультратонкие (0,6 мкм). Содержание в композиции волокна одной марки варьировали от 0 до 100 % с шагом 20 %. Режим проклейки – постоянный; связующее – сернокислый алюминий (рН 7,5...8,0, расход – 20 %).

На втором этапе эксперимента добавляли в композицию до 30 % мерсеризованной хвойной небеленой целлюлозы\*. Образцы сепараторной бумаги массой  $(100 \pm 5)$  г/м<sup>2</sup> изготавливали в лабораторных условиях на динамическом листоотливном аппарате, позволяющем получать анизотропную структуру, аналогичную структуре бумаг промышленного изготовления. Показатели качества оценивали по стандартным методикам [4, 5, 17].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Сепараторная бумага используется в испарительных элементах, эффективность работы которых определяется степенью их увлажнения за счет подъема воды по капиллярно-пористой структуре. Поэтому основным критерием качества является капиллярная впитываемость при умеренной прочности листов, достаточной для сохранения целостности материала под собственной силой тяжести при увлажнении [7, 18, 19].

Для получения количественных зависимостей капиллярной впитываемости и прочности сепараторной бумаги были изготовлены образцы с различным соотношением стеклянного волокна четырех марок, отличающегося его номинальным диаметром. Результаты исследования представлены в таблице.

#### **Влияние композиции стекловолокна на свойства сепараторной бумаги**

НТВ-0,1	Доля стекловолокна, %			Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении, МПа	Капиллярная впитываемость, мм
	МТВ-0,25	МТВ-0,4	УТВ-0,6			
100	–	–	–	0,25	1,03	147
–	100	–	–	0,24	0,71	145
–	–	100	–	0,24	0,48	102
–	–	–	100	0,25	0,42	100
80	20	–	–	0,25	1,15	94
60	40	–	–	0,25	0,77	95
40	60	–	–	0,24	0,66	101
20	80	–	–	0,24	0,62	103
80	–	20	–	0,25	1,10	100
60	–	40	–	0,24	0,82	111
40	–	60	–	0,24	0,60	123
20	–	80	–	0,24	0,32	146
80	–	–	20	0,25	0,98	108
60	–	–	40	0,25	0,87	113
40	–	–	60	0,25	0,72	125
20	–	–	80	0,25	0,65	131
–	80	20	–	0,25	0,70	124
–	60	40	–	0,25	0,62	133
–	40	60	–	0,25	0,56	143
–	20	80	–	0,25	0,50	146

\*Мерсеризованная целлюлоза отобрана на одном из отечественных предприятий, где она используется только для внутреннего потребления и не является товарным продуктом.

Окончание табл.

Доля стекловолокна, %				Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении, МПа	Капиллярная впитываемость, мм
НТВ-0,1	МТВ-0,25	МТВ-0,4	УТВ-0,6			
–	80	–	20	0,25	0,79	125
–	60	–	40	0,24	0,64	135
–	40	–	60	0,25	0,57	142
–	20	–	80	0,25	0,48	148
–	–	80	20	0,25	0,61	150
–	–	60	40	0,24	0,54	152
–	–	40	60	0,24	0,52	154
–	–	20	80	0,25	0,46	138
40	20	20	20	0,25	0,99	128
20	40	20	20	0,25	0,86	148
20	20	40	20	0,25	0,82	137
20	20	20	40	0,25	0,76	126

Наибольшие значения прочности отмечены у образцов с содержанием более 80 % стекловолокна номинальным диаметром 0,1 мкм, наименьшие – у образцов с содержанием более 40 % волокон номинальным диаметром 0,6 мкм. Отмеченная тенденция снижения прочности образцов по мере увеличения доли грубых волокон (диаметром более 0,4 мкм) согласуется с ранее полученными результатами [1–3, 10, 14, 20].

Построение кривых «напряжение–деформация», проведенное по методике [6], позволило обосновать различия в поведении сепараторной бумаги, полученной из волокон номинальным диаметром 0,1; 0,25 мкм и 0,4; 0,6 мкм, в условиях воздействия нагрузки.

Графики, приведенные на рис. 1, наглядно демонстрируют отличие форм кривых «напряжение–деформация» для монокомпонентных образцов из тонких (диаметр 0,1 и 0,25 мкм) и более грубых (диаметр 0,4 и 0,6 мкм) волокон.

Несмотря на то, что все исследуемые материалы характеризуются вязкоупругим поведением при приложении внешних нагрузок, в первом случае преобладают упругие деформации – кривые 1 и 2 имеют форму, близкую к прямой; во втором случае кривые 3 и 4 более пологие, вытянутые вдоль оси абсцисс, т. е. в этих материалах преобладают остаточные или пластические

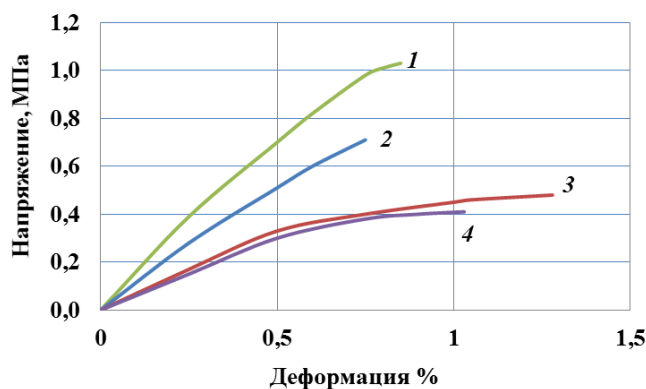


Рис. 1. Влияние на форму кривой «напряжение – деформация» марки стекловолокна: 1 – НТВ-0,1; 2 – МТВ-0,25; 3 – МТВ-0,4; 4 – УТВ-0,6

деформации, и разрушение материала чаще идет по механизму вязкого течения при низком пределе прочности (см. таблицу). При условии использования одного режима проклейки разница в поведении образцов обусловлена свойствами волокна. Известно, что стеклянные волокна представляют собой хрупкие стержни [8]. Вероятно, материалы из волокон большого диаметра образуют грубую стохастическую сетку, подвижность отдельных элементов в которой выше, что и приводит к вязкому течению и быстрому разрушению образцов при небольших внешних нагрузках.

Таким образом, анализ полученных кривых «деформация–напряжение» позволяет обосновать влияние номинального диаметра стеклянных волокон на прочность материала.

Влияние добавки грубых волокон номинальным диаметром 0,6 мкм в композицию к волокну марки МТВ-0,25 представлено на рис. 2.

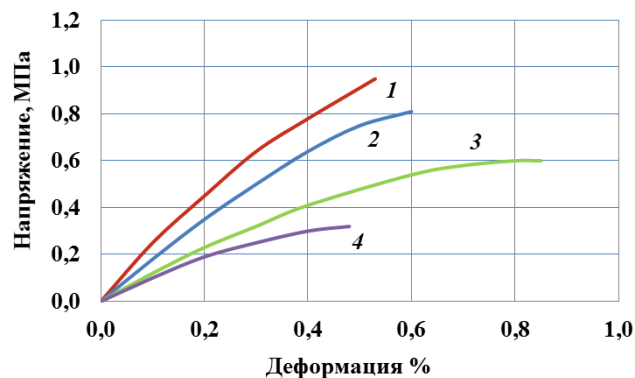


Рис. 2. Влияние на форму кривой «напряжение–деформация» добавки стекловолокна марки УТВ-0,6, %: 1 – 20; 2 – 40; 3 – 60; 4 – 80

Расчет коэффициентов корреляции показал обратно пропорциональную зависимость предела прочности при растяжении и капиллярной впитываемости исследуемых образцов сепараторной бумаги (рис. 3).

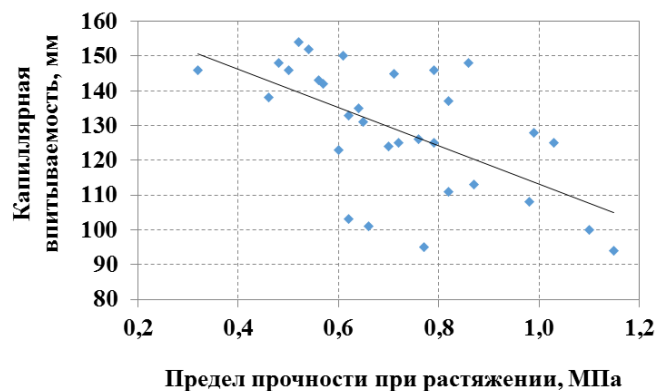


Рис. 3. Взаимосвязь предела прочности при растяжении и капиллярной впитываемости сепараторной бумаги:  $\blacklozenge$  – экспериментальные точки; — – корреляционная зависимость ( $r = -0,60$ )

Необходимо отметить, что установленная корреляционная зависимость справедлива только для многокомпонентных (2-х и более) образцов и не распространяется на монокомпонентные стекловолоконистые образцы. Принимая во внимание плотность исследуемых образцов, которая не изменяется при варьировании композиции, ухудшение капиллярной впитываемости при повышении прочности можно объяснить изменениями структуры образцов на микроуровне.

Высокое содержание нано- и микротонких волокон номинальным диаметром 0,1 и 0,25 мкм, вероятно, приводит к образованию большого количества закрытых пор, которые затрудняют подъем воды в образце. Напротив, высокое содержание волокон номинальным диаметром >0,4 мкм вызывает образование более грубой структуры с большим количеством достаточно крупных пор, что способствует улучшению капиллярной впитываемости при снижении прочности.

Таким образом, для сохранения баланса между высокой капиллярной впитываемостью и требуемой прочностью необходимо создавать композиции, содержащие как тонкие, так и более грубые стеклянные волокна. При этом добавка волокон диаметром 0,4 мкм и более не должна превышать 40 %.

Ввиду низкой прочности сепараторной бумаги из стеклянных волокон (независимо от композиции) на втором этапе было исследовано влияние упрочняющего компонента – мерсеризованной целлюлозы, которая является традиционным растительным волокном для получения высокопористых видов бумаги, включая фильтровальные. Кроме того, ее добавка в композицию стекловолоконистой бумаги обусловлена экономической целесообразностью. В качестве основы использовали стекловолокно МТВ-0,25 с расходом минерального связующего 20 %. Данные эксперимента представлены на рис. 4.

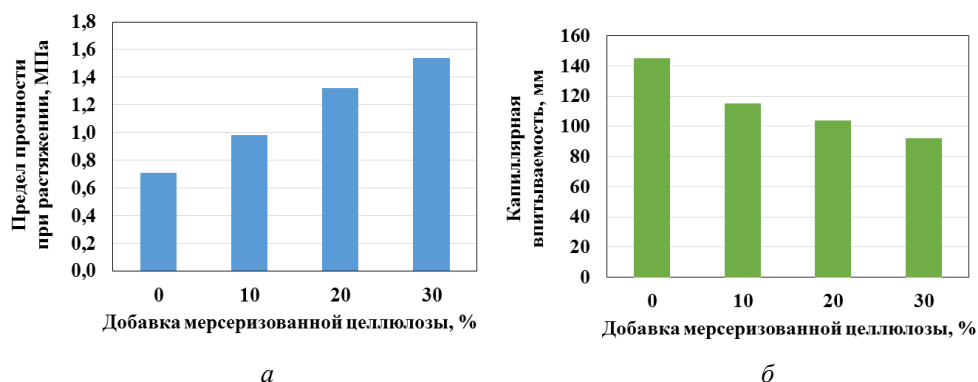


Рис. 4. Влияние добавки мерсеризованной целлюлозы на предел прочности при растяжении (а) и капиллярную впитываемость (б) сепараторной бумаги

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении предела прочности сепараторной бумаги по мере повышения доли мерсеризованной целлюлозы в ее композиции. Капиллярная впитываемость при этом закономерно снижается. Мерсеризованная целлюлоза, в отличие от стеклянных волокон, при увлажнении сильно набухает. Такие материалы имеют переменную пористость и, как следствие, невысокую впитываемость. Так, добавка 20 % мерсеризованной целлюлозы повышает прочность образцов

в 2 раза при снижении капиллярной впитываемости на 30 %. Для сохранения баланса между удовлетворительной прочностью и требуемой впитываемостью необходимо поддерживать расход мерсеризованной целлюлозы на уровне, не превышающем 10 %.

#### *Заключение*

Проведенные исследования позволили выявить обратную корреляционную зависимость между прочностью при растяжении и капиллярной впитываемостью сепараторных бумаг, изготовленных из двух и более марок стеклянных волокон.

В зависимости от требований заказчика и области применения бумаги необходимо избирательно подходить к выбору композиции по волокну для сохранения баланса между требуемым уровнем впитывающей способности и удовлетворительной прочностью.

Подтвержден низкий уровень прочности сепараторных бумаг, не превышающий 1,2 МПа, независимо от композиции по волокну; установлено негативное влияние добавки мерсеризованной целлюлозы на капиллярную впитываемость сепараторной бумаги.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безлаковский А.И.* Основы технологии бумагоподобных минерально-волоконистых композитов повышенной прочности: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2009. 162 с.
2. *Безлаковский А.И., Дубовый В.К.* Связеобразование в минерально-волоконистых композитах повышенной прочности // Лесн. журн. 2009. № 6. С. 125–130. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Безлаковский А.И., Дубовый В.К., Сысоева Н.В., Коваленко В.В.* Связеобразование в системе «минеральное волокно–минеральное связующее» // Материалы XIX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Волгоград, 2011. С. 32.
4. ГОСТ 12602–93. Бумага и картон. Определение капиллярной впитываемости. Метод Клемма. Взамен ГОСТ 12602–67; введ. 01.01.1995. Минск: Изд-во стандартов, 1995. 7 с.
5. ГОСТ ИСО 1924-1–96. Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Ч. 1. Метод нагружения с постоянной скоростью. Взамен ГОСТ 13525.1–79; введ. 01.01.2000. Минск: Изд-во стандартов, 2000. 10 с.
6. *Гурьев А.В., Казаков Я.В., Комаров В.И., Хованский В.В.* Практикум по технологии бумаги / под ред. В.И. Комарова. Архангельск: АГТУ, 2001. 112 с.
7. *Дубовой Е.В., Свиридов Е.Б., Щербак Н.В., Дубовый В.К.* Энергосберегающая экологически безопасная технология охлаждения воздуха аппаратами испарительного типа. СПб.: Политехн. ун-т, 2017. 286 с.
8. *Дубовый В.К.* Стеклянные волокна. Свойства и применение. СПб.: Нестор, 2003. 130 с.
9. *Дубовый В.К.* Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2006. 370 с.
10. *Дубовый В.К., Казаков Я.В.* Использование сульфата алюминия для повышения деформационных характеристик бумагоподобных материалов из минеральных волокон // Лесн. журн. 2005. № 1-2. С. 188–193. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Дубовый В.К., Чижов Г.И.* Силы связи в бумаге из растительных и минеральных волокон // Лесн. журн. 2005. № 4. С. 116–124. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. *Коваленко В.В.* Совершенствование технологии получения бумагоподобных материалов фильтровального назначения на основе стеклянных волокон: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2014. 131 с.

13. Смолин А.С., Щербак Н.В., Лоренгель М.А., Дубовой Е.В. Оценка эффективности очистки воздуха минеральноволокнистыми сепараторными бумагами // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 126–134. (Изв. высш. учеб. заведений).

14. Хованский В.В., Дубовый В.К., Иваненко А.Д. Влияние алюмосиликатного связующего на прочность бумагоподобных композитов из каолиновых волокон // Химия и технология бумаги: межвуз. сб. науч. тр. СПб., 2001. С. 12–17.

15. Air Conditioning // Eberspächer: the Official Site. Available at: <https://www.eberspaecher.com/en/products/air-conditioning.html> (дата обращения: 02.09.17).

16. Andrew Industries Limited. Available at: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm> (дата обращения: 02.09.17).

17. DIN EN ISO 12625-8:2011. Tissue-Papier und Tissue-Produkte. Teil 8: Zeit für die Wasseraufnahme und Wasseraufnahmekapazität, Korbeintauch-Prüfverfahren [DIN EN ISO 12625-8:2011. Tissue Paper and Tissue Products. Part 8: Water-Absorption Time and Water-Absorption Capacity, Basket-Immersion Test Method (ISO 12625-8:2010)]. Germany: DIN Publ., 2011. 15 p.

18. Suhr M., Klein G., Kourti I., Gonzalo M.R., Santonja G.G., Roudier S., Sancho L.D. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control) // JRC Science and Policy Reports. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2015. 906 p.

19. World's First Personal Air Cooler // Evapolar: the Official Site. Available at: <https://evapolar.com> (дата обращения: 02.09.17).

20. 400-LS Mineral Fiber Paper. Available at: [http://www.morganthermalceramics.com/media/2227/400-ls\\_mineral\\_fiber\\_paper.pdf](http://www.morganthermalceramics.com/media/2227/400-ls_mineral_fiber_paper.pdf) (дата обращения: 02.09.17).

Поступила 05.10.17

UDC 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120

### Simulation of Separator Paper Composition from Mineral and Vegetable Raw Material for Hardening and Absorbency

*N.V. Shcherbak<sup>1</sup>, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*E.V. Dybovoy<sup>2</sup>, Engineer*

*M.A. Lorengel<sup>2</sup>, Postgraduate Student*

*A.S. Smolin<sup>2</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

<sup>2</sup>Saint Petersburg State University of Technology and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com, smolin@gturp.spb.ru

The paper discusses the effect of glass fibers of different grades and mercerized pulp in the separator paper composition for air cooling devices on tensile strength and capillary absorption. At the first stage, we assess the variation of these parameters with a change in the proportion of glass fibers differing in nominal diameter (0.1; 0.25; 0.4; 0.6  $\mu\text{m}$ ). One-, two-, three- and four-component samples are obtained in laboratory conditions. The fiber content in the composition varies from 0 to 100 % in 20 % increments. The strength level of all samples obtained is low, does not exceed 1.2 MPa. The possibility of increasing the

---

*For citation:* Shcherbak N.V., Dybovoy E.V., Lorengel' M.A., Smolin A.S. Simulation of Separator Paper Composition from Mineral and Vegetable Raw Material for Hardening and Absorbency. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 1, pp. 120–129. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120



tensile strength by reducing the proportion of glass fibers with a nominal diameter of 0.6  $\mu\text{m}$  is demonstrated. To obtain maximum strength, the proportion of fibers with a nominal diameter greater than 0.4  $\mu\text{m}$  should not exceed 20 %. We establish a significant correlation between the tensile strength and the capillary rise of glass fiber samples, regardless of their nominal diameter. The maximum increase in tensile strength leads to a 30 % reduction in the separator paper capillary rise. In the second stage, the influence of mercerized pulp additive on the strength and capillary rise of separator paper is studied. We observe a gradual increase in the strength of separator paper when adding mercerized pulp to a glass fiber composition with a nominal diameter of 0.25  $\mu\text{m}$ . For example, a 20 % addition of mercerized pulp leads to an increase in the strength of the samples by a factor of 2 with a drop in capillary rise by 30 %. The increase in strength while maintaining the capillary rise at the required level is possible with the addition of mercerized pulp not more than 10 %. The result of the studies allows us to regulate the fiber furnish to obtain separator paper with the required level of properties necessary for the manufacture of evaporative elements used in air cooling units.

*Keywords:* glass fiber, separator paper, mercerized pulp, tensile strength, paper capillary rise.

#### REFERENCES

1. Bezlakovskiy A.I. *Osnovy tekhnologii bumagopodobnykh mineral'no-voloknistykh kompozitov povyshennoy prochnosti*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Fundamentals of Technology of High-Strength Paper-Like Mineral and Fiber Composites: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2009. 162 p.
2. Bezlakovskiy A.I., Dubovyy V.K. Svyazobrazovanie v mineral'no-voloknistykh kompozitakh povyshennoy prochnosti [Bond-formation in Mineral-fiber Composites of High Strength]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 6, pp. 125–130.
3. Bezlakovskiy A.I., Dubovyy V.K., Sysoeva N.V., Kovalenko V.V. Svyazobrazovanie v sisteme «mineral'noe volokno – mineral'noe svyazuyushchee» [Bond-formation in the System “Mineral Fiber – Mineral Binder”]. *Materialy XIX Mendeleevskogo s'ezda po obshchey i prikladnoy khimii* [Proc. 19th Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry]. Volgograd, 2011, p. 32. (In Russ.)
4. *GOST 12602–93. Bumaga i karton. Opredelenie kapillyarnoy vpytyvaemosti. Metod Klemma* [State Standard 12602–93. Paper and Board. Determination of Capillary Rise. Klemm Method]. Minsk, Izdatel'stvo standartov Publ., 1995. 7 p.
5. *GOST ISO 1924-1–96. Bumaga i karton. Opredelenie prochnosti pri rastyazhenii. Ch. 1. Metod nagruzheniya s postoyannoy skorost'yu* [State Standard ISO 1924-1–96. Paper and Board. Determination of Tensile Properties. Part 1. Constant Rate of Loading Method]. Minsk, Izdatel'stvo standartov Publ., 2000. 10 p.
6. Gur'ev A.V., Kazakov Ya.V., Komarov V.I., Khovanskiy V.V. *Praktikum po tekhnologii bumagi* [Workshop on Paper Technology]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2001. 112 p. (In Russ.)
7. Dubovoy E.V., Sviridov E.B., Shcherbak N.V., Dubovyy V.K. *Energoberegayushchaya ekologicheski bezopasnaya tekhnologiya okhlazhdeniya vozdukha apparatami isparitel'nogo tipa* [Energy-Saving Environmentally Friendly Technology for Air Cooling with Evaporation Type Devices]. Saint Petersburg, SPbPU Publ., 2017. 286 p. (In Russ.)
8. Dubovyy V.K. *Steklyannye volokna. Svoystva i primeneniye* [Glass Fibers. Properties and Application]. Saint Petersburg, Nestor Publ., 2003. 130 p. (In Russ.)
9. Dubovyy V.K. Bumagopodobnye kompozitsionnye materialy na osnove mineral'nykh volokon: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Paperlike Composites Based on Mineral Fibers: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2006. 370 p.
10. Dubovyy V.K., Kazakov Ya.V. Ispol'zovanie sul'fata alyuminiya dlya povysheniya deformatsionnykh kharakteristik bumagopodobnykh materialov iz

mineral'nykh volokon [Application of Aluminum Sulfate for Increasing Deformational Characteristics of Paper-like Materials of the Mineral Fibers]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2005, no. 1-2, pp. 188–193.

11. Dubovyy V.K., Chizhov G.I. Sily svyazi v bumage iz rastitel'nykh i mineral'nykh volokon [Bonding Force in Paper Made of Plant and Mineral Fibers]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2005, no. 4, pp. 116–124.

12. Kovalenko V.V. Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya bumagopodobnykh materialov fil'troval'nogo naznacheniya na osnove steklyannykh volokon: dis. ... kand. tekhn. nauk [Technological Advancement for Producing Paper-like Materials of Filtering Purpose Based on Glass Fibers: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangel'sk, 2014. 131 p.

13. Smolin A.S., Shcherbak N.V., Lorengel' M.A., Dubovoy E.V. Otsenka effektivnosti ochistki vozdukhа mineral'novoloknistymi separatornymi bumagami [Estimating Efficiency of Air Cleaning by Mineral Fiber Separator Papers]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 126–134.

14. Khovanskiy V.V., Dubovyy V.K., Ivanenko A.D. Vliyanie alyumosilikatnogo svyazuyushchego na prochnost' bumagopodobnykh kompozitov iz kaolinovykh volokon [Influence of Aluminosilicate Binder on the Strength of Paper-like Composites from Kaolin Fibers]. *Khimiya i tekhnologiya bumagi: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Chemistry and Technology of Paper]. Saint Petersburg, 2001, pp. 12–17.

15. Air Conditioning. *Eberspächer. The Official Site*. Available at: <https://www.eberspaecher.com/en/products/air-conditioning.html>.

16. *Andrew Industries Limited*. Available at: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm>.

17. *DIN EN ISO 12625-8:2011. Tissue-Papier und Tissue-Produkte. Teil 8: Zeit für die Wasseraufnahme und Wasseraufnahmekapazität, Korbeintauch-Prüfverfahren* [DIN EN ISO 12625-8:2011. Tissue Paper and Tissue Products. Part 8: Water-Absorption Time and Water-Absorption Capacity, Basket-Immersion Test Method (ISO 12625-8:2010)]. Germany, DIN Publ., 2011. 15 p.

18. Suhr M., Klein G., Kourti I., Gonzalo M.R., Santonja G.G., Roudier S., Sancho L.D. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). *JRC Science and Policy Reports*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2015. 906 p.

19. World's First Personal Air Cooler. *Evapolar. The Official Site*. Available at: <https://evapolar.com>.

20. *400-LS Mineral Fiber Paper*. Available at: [http://www.morganthermalceramics.com/media/2227/400-ls\\_mineral\\_fiber\\_paper.pdf](http://www.morganthermalceramics.com/media/2227/400-ls_mineral_fiber_paper.pdf).

Received on October 05, 2017