

Дерево

ISSN 0011-9008

4/2017

обрабатывающая
промышленность

БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Химическая технология древесины

УДК 62-784.43

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИИ БУМАГИ НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ АППАРАТОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТИПА НА РАЗРЫВНУЮ ПРОЧНОСТЬ И КАПИЛЛЯРНУЮ ВПИТЫВАЕМОСТЬ

А.С. Смолин, Е.В. Дубовой, М.А. Лоренгель, Н.В. Щербак

Исследовано влияние композиции бумаги на основе стеклянных волокон для аппаратов охлаждения воздуха испарительного типа на разрывную прочность и капиллярную впитываемость. Показано, что варьирование композиции как по волокну, так и по связующему существенно влияет на разрывную прочность и капиллярную впитываемость. Наибольший прирост прочности стекловолоконистой бумаги дает использование в композиции мерсеризованной целлюлозы. Добавка 20% позволяет в два раза повысить прочность на разрыв бумаги.

Выполненный цикл исследований позволил получить большой объем информации о свойствах стекловолоконистой бумаги, в зависимости от композиционных и структурно-размерных факторов; результат позволил обоснованно выбрать композицию волокнистой массы для получения стекловолоконистой бумаги со свойствами, необходимыми для элементов прямого испарительного охлаждения воздуха.

Ключевые слова: *стеклянное волокно, суспензия волокна, стекловолоконистая бумага, мерсеризованная целлюлоза, сульфат алюминия, связующее, прочность бумаги на разрыв, впитываемость капиллярная, пористость*

The effect of compositions based on glass fibers for evaporative-type air cooling equipment on tensile strength and capillary absorption is studied. It is shown that a change in the composition of both the fiber and the binder effect on tensile strength and capillary absorption. The greatest increase in the strength of fiberglass paper is provided by the use of mercerized cellulose in the composition. The addition of 20% doubles the tensile strength of the paper.

The performed research cycle made it possible to obtain a large amount of information on the properties of fiberglass paper, depending on the compositional and structural-dimensional factors; the result allowed to selectively choose a pulp composition to produce a fiberglass paper with the properties required for direct evaporative air cooling elements.

Keywords: *glass fiber, fiber suspension, fiberglass paper, mercerized cellulose, aluminum sulfate, binder, tensile strength of paper, capillary absorption capacity, porosity*

Введение

Потепление климата, происходящее в последние десятилетия, ставит перед человечеством задачи, связанные с разработкой инновационных энергосберегающих экологически безопасных технологий охлаждения воздуха. Охлаждение воздуха имеет большое значение для обеспечения нормальных условий работы и отдыха людей, а также эксплуатации оборудования.

Современные требования к технологии охлаждения воздуха имеют следующие особенности:

1. Возможность широкомасштабного, массового применения устройств охлаждения.
2. Организация работы по энергосберегающему режиму.
3. Экологическая безопасность.
4. Улучшение качества вырабатываемого охладителями воздуха.

Изучение этих требований к современной технологии охлаждения воздуха со всей очевидностью показывают, что удовлетворить им могут только охладители воздуха, 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. Это связано прежде всего с исключительно высоким значением скрытой теплоты испарения, общедоступностью и экологической безопасностью этого вещества. К особенностям данной технологии, отличающим ее от близких с технологической точки зрения подходов, относится также применение пластинчатой конструкции теплообменников аппаратов без применения верхнего полива (орошения) испаряющей поверхности. Так возникла необходимость создания принципиально нового капиллярно-пористого материала, обладающего качественно более высоким уровнем эксплуатационных свойств [3-11].

Одним из перспективных микропористых материалов для катриджей аппаратов охлаждения воздуха прямым испарением воды, является бумага на основе стеклянных волокон [7,13-15]. Основные требования к бумаге это высокая капиллярная впитываемость и требуемая механическая прочность, при водо-, хемо- и биостойкости.

Механическая прочность бумаги из стеклянного волокна индивидуальных марок – НТВ 0,10; 2- МТВ-0,25; 3- МТВ-0,40; 4- УТВ-0,60 без добавления связующего, отличается низкой механической прочностью и высокой пористостью. Для использования стекловолоконной бумаги в качестве высокопористых испарительных элементов в аппаратах охлаждения воздуха, представлялось важным найти оптимальную композицию бумаги по диаметру волокна и связующему, обеспечивающую достаточную прочность и максимально возможную капиллярную впитываемость [1-2].

Цель исследования - установление закономерностей влияния композиции стекловолоконной бумаги по диаметру стекловолокна и связующему на механическую прочность и капиллярную впитываемость.

Методы и материалы

Образцы стекловолоконной бумаги получали в лабораторных условиях из стеклянных волокон четырех марок с использованием в качестве неорганического связующего сульфат алюминия с расходом от 0

до 20% в пересчете на Al_2O_3 шаг 5% и органического связующего мерсеризованной целлюлозы в диапазоне от 0 до 30% с шагом 10%. Варьирование стеклянных волокон четырех марок (НТВ-0,1; МТВ-0,25; МТВ-0,4; УТВ-0,6) с номинальным диаметром 0,1; 0,25; 0,4; 0,6 мкм в композиции бумаги принято в диапазоне от 0 до 100% с шагом 20%.

Исследования

Для получения количественных зависимостей прочности стекловолоконной бумаги от композиции по волокну, были изготовлены образцы бумаги примерно равной плотности (массой $1 \text{ м}^2 100 \text{ г}$) с различным соотношением волокна 4-х марок и расходе связующего- сульфата алюминия 20% в пересчете Al_2O_3 . Результаты исследования прочности на разрыв и капиллярной впитываемости представлены в таблице 1.

Испарительные элементы – листы бумаги определенных размеров, работают подобно «фитиллю» – осуществляют подъем воды по капиллярно-пористой структуре почти без внешней нагрузки. Следовательно, основным фактором качества является впитываемость капиллярная при умеренной прочности листов. Поэтому, выбор необходимого образца бумаги следует делать по фактору максимальной впитываемости.

Наибольшие значения впитываемости и прочности бумаги наблюдаются для марки волокна НТВ-0,1. Учитывая высокую стоимость нанотонкого волокна, экономически приемлемыми вариантами можно признать композиции под номерами 30 и 33. Умеренное содержание самого дорогого волокна в сочетании с прочностью на разрыв 0,86 и 0,79 МПа и впитываемостью капиллярной 148 и 146, позволяет ожидать для этих образцов бумаги требуемых свойств.

Низкая сжимаемость стекловолокна обуславливает прямую зависимость массы 1 м^2 бумаги и толщины, определяющих ее плотность. Соотношение массы 1 м^2 и толщины бумаги важно для физической функциональности испарительных элементов, так как определяют устойчивость листов и производительность по массе поднимаемой воды в единицу времени. В таблице 2 представлены результаты исследования по влиянию массы 1 м^2 стекловолоконной бумаги

на прочность и впитываемость капиллярную для варианта композиции под номером 33 - по

25% 4-х марок волокна и расходе связующего – сульфата алюминия 5% в пересчете на Al_2O_3 .

Таблица 1 - Влияние композиции стекловолокна на свойства бумаги

№ композиции	Содержание стекловолокна, %				Плотность, г/см ³	Прочность на разрыв, МПа.	Впитываемость капиллярная, мм
	НТВ-0,10	МТВ-0,25	МТВ-0,40	УТВ-0,60			
1	100	-	-	-	0,25	1,03	147
2	-	100	-	-	0,24	0,71	145
3	-	-	100	-	0,24	0,48	102
4	-	-	-	100	0,25	0,42	100
5	80	20	-	-	0,25	1,15	94
6	60	40	-	-	0,25	0,77	95
7	40	60	-	-	0,24	0,66	101
8	20	80	-	-	0,24	0,62	103
9	80	-	20	-	0,25	1,1	100
10	60	-	40	-	0,24	0,82	111
11	40	-	60	-	0,24	0,6	123
12	20	-	80	-	0,24	0,32	146
13	80	-	-	20	0,25	0,98	108
14	60	-	-	40	0,25	0,87	113
15	40	-	-	60	0,25	0,72	125
16	20	-	-	80	0,25	0,65	131
17	-	80	20	-	0,25	0,7	124
18	-	60	40	-	0,25	0,62	133
19	-	40	60	-	0,25	0,56	143
20	-	20	80	-	0,25	0,5	146
21	-	80	-	20	0,25	0,79	125
22	-	60	-	40	0,24	0,64	135
23	-	40	-	60	0,25	0,57	142
24	-	20	-	80	0,25	0,48	148
25	-	-	80	20	0,25	0,61	150
26	-	-	60	40	0,24	0,54	152
27	-	-	40	60	0,24	0,52	154
28	-	-	20	80	0,25	0,46	138
29	40	20	20	20	0,25	0,99	128
30	20	40	20	20	0,25	0,86	148
31	20	20	40	20	0,25	0,82	137
32	20	20	20	40	0,25	0,76	126
33	25	25	25	25	0,24	0,79	146

Анализ экспериментальных данных показывает количественную закономерность

Повышение массы 1 м² бумаги, при одинаковой плотности 0,25 г/см³, ведет к увеличению толщины, прочности и снижению капиллярной впитываемости, таблица 2.

влияния массы 1 м² бумаги на толщину, прочность на разрыв и впитываемость.

Расход минерального связующего – сульфата алюминия, на прочность и впитываемость исследовалась для образцов стекловолокнистой бумаги композиции 33, таблица 1. Результаты исследования приведены в таблице 3.

Таблица 2 - Влияние массы 1 м² стекловолоконной бумаги на прочность и впитываемость капиллярную

Масса 1 м ² , г	Толщина, мм	Плотность, г/см ³	Прочность на разрыв, МПа	Впитываемость капиллярная, мм
50	0,2	0,25	0,20	161
100	0,4		0,36	155
150	0,6		0,52	144
200	0,8		0,68	135

Таблица 3 - Влияние расхода связующего на свойства стекловолоконной бумаги, массой 100 г/м²

Расход связующего, %	Прочность на разрыв, МПа	Впитываемость капиллярная, мм	Воздухопроницаемость мл/мин
5	0,36	155	5000
10	0,56	153	4550
15	0,72	150	2013
20	0,79	146	1876

Представленные в таблице 3 результаты исследования показывают, что повышение содержания связующего в бумаге ведет к повышению прочности на разрыв и снижению впитываемости капиллярной. При значительном росте расхода связующего – с 5 до 20% к массе волокна, существенно увеличивается прочность – с 0,36 до 0,79 МПа, но не критично снижается впитываемость – от 155 до 146 мм. Умеренное

снижение впитываемости можно объяснить тем, что флоккулы минерального связующего соразмерны с диаметром волокна (20-80 нм) и образуют единую микропористую матрицу «стекловолоконно-связующее». Подтверждением служат электронные микрофотографии фрагментов структуры, пример которой представлен на рисунке 1.

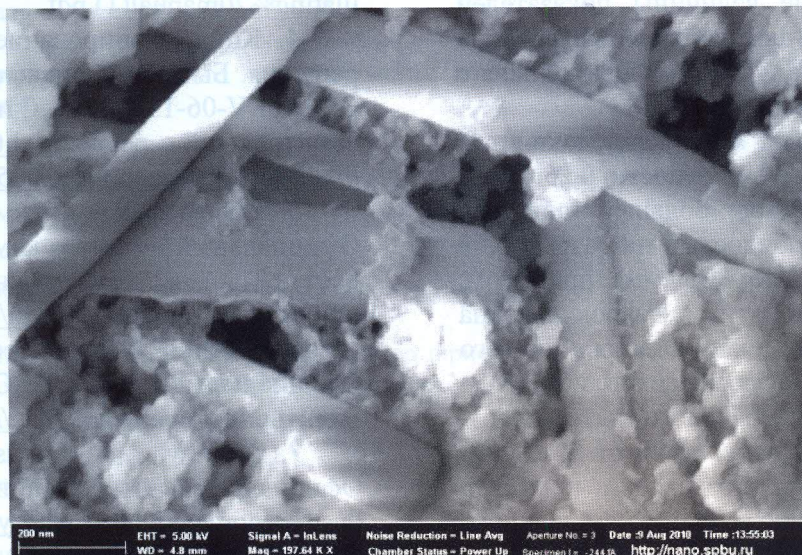


Рис. 1. Электронная фотография фрагмента структуры «стекловолоконно-связующее»

Мерсеризованная целлюлоза является традиционным растительным волокном для получения высокопористых видов бумаги, включая фильтровальные. С точки зрения экономической целесообразности,

представлялось обоснованным исследовать композиции стекловолоконной бумаги с добавлением мерсеризованной целлюлозы. В качестве основы бумаги использовалось стекловолокно МТВ-0,25 с расходом

минерального связующего 20%. Данные эксперимента приведены в таблице 4.

Полученные результаты свидетельствуют о увеличении разрывной прочности бумаги с ростом в композиции содержания мерсеризованной целлюлозы. Добавка 20% целлюлозы дает большой прирост прочности на

разрыв – на 0,61 МПа, в сравнении с чистым стекловолокном (0,71 МПа). Отрицательным воздействием целлюлозы на бумагу является снижение впитываемости капиллярной до 104 мм, против 145 мм для индивидуального стекловолокна.

Таблица 4 - Влияние мерсеризованной целлюлозы в композиции на свойства минеральноволокнистой бумаги

№ композиции	Стекловолокно, МТВ-0,25, %	Целлюлоза мерсеризованная, %	Прочность на разрыв, МПа	Впитываемость капиллярная, мм
1	100	–	0,71	145
2	90	10	0,98	115
3	80	20	1,32	104
4	70	30	1,54	92

Заключение

Исследованы композиционные (состав по волокну, расход связующего) и структурно-размерные (масса 1 м², плотность, толщина) свойства стекловолокнистой бумаги; показано, что композиция стеклянного волокна 4-х марок НТВ 0,10, МТВ-0,25, МТВ-0,40, УТВ-0,60 индивидуально или в смеси оказывают существенное влияние на показатели прочности на разрыв и впитываемость капиллярную; без добавления связующего можно получить, например, предельные величины показателей 1,03 МПа и 147 мм (для нанотонкого волокна МТВ-0,10) и 0,42 МПа и 100 мм (для волокна с наибольшим диаметром УТВ-0,60).

Увеличение массы 1 м² стекловолокнистой бумаги, при одинаковой плотности 0,25 г/см³, позволяет получить бумагу большей толщины, например, 0,8 мм с прочностью на разрыв 0,68 МПа и впитываемостью 135 мм; при этом, используется композиция из 4-х марок волокна по 25% и минимальное количество связующего – сульфата алюминия, 5% в пересчете на Al₂O₃.

Использование минерального связующего – сульфата алюминия, в количестве от 5 до 20% от массы волокна, позволяет повысить прочность бумаги из композиций смешанного волокна, при незначительном снижении капиллярной впитываемости.

Литература

1. Дубовой Е.В., Свиридов Е.Б., Щербак Н.В., Дубовой В.К. Энергосберегающая экологически безопасная технология охлаждения

воздуха аппаратами испарительного типа. – Изд. Политехнического у-та, СПб, 2017 – С 286.

2. Дубовой В.К. Стекланные волокна. Свойства и применение / В.К. Дубовой. – СПб.: Изд-во Нестор, 2003.- 130 с. – ISBN 5-303-00102-4.

3. Проектирование летнего охлаждения производственных помещений. GoldAir. Адиабатические испарительные охладители. Открытый доступ. Электронный ресурс. [http://losevonline.ru/files/file/Cold%20Air%20calculating%20manual\(1\).pdf](http://losevonline.ru/files/file/Cold%20Air%20calculating%20manual(1).pdf)

4. Кондиционирование. Современные решения. Бытовой испарительный кондиционер CD-ZYEV-06-13B. Открытый доступ. Электронный ресурс. <http://www.comfort-deluxe.ru/index-evacooling1005.html>.

5. Eberspecher. Кондиционеры. Официальный сайт компании. Открытый доступ. Электронный ресурс. <http://www.eberspecher33.ru/conditioners/>

6. World's first personal air cooler. Официальный сайт. Открытый доступ. Электронный ресурс. <https://evapolar.com/>

7. Andrew Industries Limited. Официальный сайт компании <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm>

8. Hollingsworth-vose. Официальный сайт компании. Открытый доступ. Электронный ресурс <http://www.hollingsworth-vose.com/en>

9. ООО «Фильтрующие материалы». Производство воздушных фильтров <http://filtrmat.ru>

10. ООО «НПП «ФОЛТЕР». Фолтер – воздушные фильтры и пылеуловители. <http://www.folter.ru/>

11. ГК «Воздушные фильтры». Российское представительство компании Libeltex, Бельгия www.filters.ru

12. Марийский ЦБК. Официальный сайт компании. Открытый ресурс. <http://marbum.ru/produkcija>

13. Дубовый В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон : дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. СПб, 2006. 370 с.

14. Мишненкова М.А., Дубовый В.К., Безлаковский А.И. Влияние диаметра

стеклянных волокон на свойства фильтровальных материалов на основе минеральных волокон // Материалы 2-ой междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти проф. В.И. Комарова. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. С.128-132.

15. Мишненкова М.А., Красиков В.Д., Дубовый В.К. Влияние структурных наноразмерных характеристик минерального волокна на проницаемость композитных фильтрационных материалов // Материалы 15-ой междунар. науч.-практич. конф. «Высокие технологии, фундаментальные исследования, финансы». СПб, 2013. С. 186-189.

© А.С. Смолин - д. т. н; профессор «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», smolin@gturp.spb.ru, dubovoy.evgeniy@gmail.com; Е.В. Дубовой - инженер НИЧ «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»; М.А. Лоренгель – аспирант «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»; Н.В. Щербак - к. т. н, доцент «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», n.sisoeva@narfu.ru.

Уважаемые авторы журнала!!!

Все подготовленные к изданию статьи, должны соответствовать всем требованиям к оформлению.

Статьи, представляющие результаты исследований, должны включать разделы: «Введение», «Методы и материалы», «Результаты», «Заключение», «Литература».

Обзорные статьи также должны быть структурированы и состоять из разделов: «Введение», «Обзор исследований в области...», «Заключение», «Литература».

Рабочие языки журнала — русский и английский.

Макет журнала **двухколоночный**.

Параметры страницы:

- верх — 3 см;
- низ — 2,5 см;
- левое поле — 1,8 см;
- правое поле — 1,8 см;
- расстояние между колонками — 1,25 см.

Основной шрифт статьи «Times New Roman», размер шрифта — 11 кегль через 1 интервал (ключевые слова аннотации оформляются кеглем 10). Абзац — 0,75 см. Текст формируется в две колонки.

Размер рисунков:

- ширина — не более 17,5 см;
- высота — не более 12 см;

Название рисунков: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Рис. 1. Название рисунка**)

Размер таблицы не должен превышать 17,5 x 12 см.

Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (**Таблица 1 - Название таблицы**)

Формулы, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну колонку, то есть иметь размер не более чем 8,5 x 5 см (шрифт «Times New Roman»).