

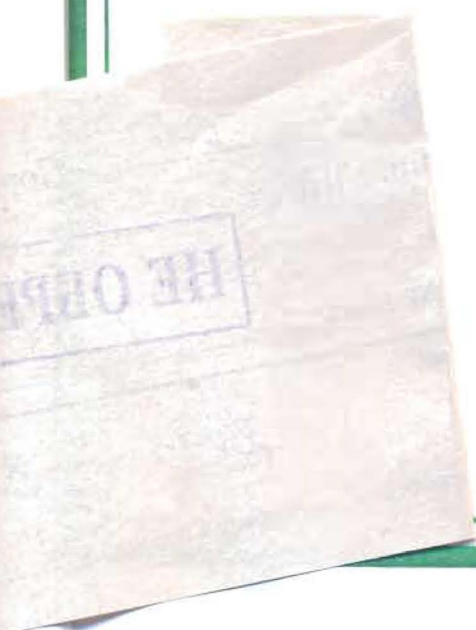
ISSN 0536 - 1036

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

# ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

3 (321)  
2011



УДК 676.017

В.К. Дубовый<sup>1</sup>, Д.П. Маркеев<sup>2</sup>, Н.В. Сысоева<sup>3</sup><sup>1</sup>С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров<sup>2</sup>ОАО Гатчинский опытный завод бумагоделательного оборудования<sup>3</sup>Северный (Арктический) федеральный университет

## ВЛИЯНИЕ МАССЫ 1 м<sup>2</sup> И ПЛОТНОСТИ НА СВОЙСТВА БУМАГОПОДОБНЫХ ТЕПЛО- И ШУМОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН

Установлено, что повышение массы 1 м<sup>2</sup> и плотности, а также снижение диаметра волокон позволяет, не меняя композиции, получать широкую гамму изолирующих материалов при снижении коэффициента теплопотерь в 2,5–4,0 раза, повышении коэффициента звукопоглощения и прочности соответственно в 1,5–5,0 и 1,3–3,5 раза.

*Ключевые слова:* бумага, минеральные волокна, минерально-волокнистые композиты, термо- и шумоизоляция, плотность, размеры минеральных волокон, коэффициент теплопотерь, коэффициент поглощения звука, прочность.

Современные тепло- и шумоизоляционные материалы на 80...100 % состоят из минеральных волокон (стеклянных, базальтовых, кварцевых, каолиновых и др.). Обычно их изготавливают в виде холстов, матов или ткани на специальном оборудовании, а затем подвергают пропитке или другой обработке специальными смолами для увеличения прочности [5]. К недостаткам таких технологий и материалов относятся низкая производительность оборудования, неравномерность и нестабильность основных потребительских свойств по рабочей площади изоляторов. Это обусловлено невозможностью получения изолирующих материалов равномерной плотности и ее снижение в процессе эксплуатации. В качестве упрочняющих добавок обычно используют органические смолы, которые ограничивают возможность применения этих материалов в тяжелых условиях, т. е. теряется их основное преимущество – высокая (до 1000 °С и более) термостойкость. Для устранения этого недостатка в качестве ис-

ходного сырья при производстве термозащитных плит для внешней поверхности космических челноков применяют очень дорогие волокна, обладающие свойством абляции, т. е. переходом из твердого состояния в газообразное без теплопередачи внутри материала [5]. Изготавливают эти плиты методами мокрого формования на специальном оборудовании.

В последнее время за рубежом тепло- и шумоизоляционные минерально-волокнистые композиты изготавливают значительно более экономичными методами бумажного производства на машинах с наклонным сеточным столом при концентрации от 0,050 до 0,001 %, что обеспечивает получение бумагоподобного материала с очень равномерной структурой из минеральных волокон длиной 5...10 мм [6]. Помимо того, что эти материалы получают на высокопроизводительных БДМ, они обладают равномерными и стабильными в процессе эксплуатации потребительскими свойствами, а также высокотехнологичны при переработке.

Это позволяет достигать требуемой толщины и объема изолятора не только за счет сложения необходимого количества слоев бумагоподобного материала, но и изготовления из него высокопрочных тепло- и шумоизоляторов в виде «сотовых» конструкций [7].

При этом чрезвычайно важен, с позиции достижения требуемых свойств материала, правильный выбор минерального волокна и связующего, которые дают ему возможность работать длительное время как в простых, так и в тяжелых условиях, прежде всего при высокой температуре.

Наибольший интерес представляют стеклянные и, особенно, жаростойкие алюмосиликатные (каолиновые) волокна. Последние обладают высокой химической стойкостью и хорошими тепло- и шумоизоляционными свойствами, сохраняющимися при температуре более 1000 °С. За рубежом для этих целей применяют аналогичные алюмосиликатные волокна, близкие по составу к каолиновым и известные под торговыми марками «каовул» и «файберфакс» [5].

Безусловно заслуживают внимания базальтовые волокна, более дешевые и жаростойкие по сравнению со стеклянными. Однако ранее [2] установлено, что их нельзя использовать без замены центробежного способа изготовления на дутьевой, который предотвращает образование «корольков», резко ухудшающих прочность и другие свойства бумагоподобного композита.

В качестве неорганического связующего, позволяющего не только повышать прочность бумагоподобных минерально-волоконистых композитов, но и работать им при высоких температурах, наибольший интерес представляют дешевые и доступные соеди-

нения алюминия. Например, в процессе воздействия алюмината натрия или сульфата алюминия на продукты гидролиза (соответственно кислоты или щелочи до pH 8,5...9,5) образуются сложные полиядерные комплексы. Они способны к координационному взаимодействию с доступными ОН-группами, в том числе с расположенными на гидрофильной поверхности минеральных волокон, способствуя тем самым образованию дополнительных координационных связей между волокнами [1].

Результаты предварительных опытов [3, 4] показали, что материалы из минеральных волокон обладают высокими тепло- и шумоизоляционными свойствами даже при добавке в композицию 10...15 % макулатуры. Вместе с тем, для отработки технологии получения минерально-волоконистых материалов весьма важно количественно оценить влияние на изолирующие и прочностные свойства различных факторов, прежде всего таких основополагающих, как масса 1 м<sup>2</sup>, плотность и диаметр волокон, поскольку их влияние хорошо изучено только для изолирующих видов бумаги и картона из растительных волокон [8].

В качестве исходного сырья применяли штапельные стеклянные волокна диаметром от 0,2 до 15,0 мкм и штапельные каолиновые волокна диаметром 0,8 и 2,0 мкм. Длина волокон составляла 5...7 мм. Полиядерные комплексы для упрочнения образцов получали непосредственно в массе перед отливом из алюмината натрия путем добавки 0,1 н соляной кислоты до достижения pH 8,5...9,5. Расход алюмината натрия в пересчете на оксид алюминия составлял 40 % от массы волокон.

Таблица 1

Влияние массы  $1 \text{ м}^2$  на основные свойства образцов из различных минеральных волокон

| Минеральные волокна<br>(диаметр) | Масса $1 \text{ м}^2$ ,<br>г | Коэффициент<br>теплопотерь $K_{т.п.}$ ,<br>% | Коэффициент<br>поглощения звука<br>$K_{з.п.}$ , %, при частоте, Гц |       |        | Сопротивление<br>разрыву,<br>МПа |
|----------------------------------|------------------------------|--|--|-------|--------|----------------------------------|
|                                  |                              |  | 50   | 5 000 | 15 000 |                                  |
| Стекланные                       |                              |  |  |       |        |                                  |
| Грубые (15,0 мкм)                | 100                          | 0,70   | 0,28   | 0,38  | 0,52   | 0,18                             |
|                                  | 200                          | 0,56   | 0,30   | 0,45  | 0,55   | 0,28                             |
|                                  | 305                          | 0,45   | 0,32   | 0,52  | 0,66   | 0,40                             |
|                                  | 405                          | 0,25   | 0,36   | 0,59  | 0,69   | 0,45                             |
|                                  | 511                          | 0,15   | 0,37   | 0,65  | 0,72   | 0,59                             |
| Супертонкие (2,0 мкм)            | 103                          | 0,48   | 0,31   | 0,41  | 0,56   | 0,26                             |
|                                  | 205                          | 0,40   | 0,32   | 0,48  | 0,62   | 0,35                             |
|                                  | 305                          | 0,30   | 0,33   | 0,56  | 0,67   | 0,48                             |
|                                  | 408                          | 0,20   | 0,39   | 0,66  | 0,75   | 0,59                             |
|                                  | 513                          | 0,12   | 0,42   | 0,71  | 0,79   | 0,68                             |
| Ультратонкие (0,7 мкм)           | 106                          | 0,40   | 0,34   | 0,48  | 0,55   | 0,29                             |
|                                  | 210                          | 0,35   | 0,36   | 0,55  | 0,62   | 0,43                             |
|                                  | 308                          | 0,25   | 0,40   | 0,62  | 0,72   | 0,46                             |
|                                  | 400                          | 0,19   | 0,48   | 0,69  | 0,79   | 0,60                             |
|                                  | 505                          | 0,10   | 0,48   | 0,75  | 0,88   | 0,78                             |
| Микротонкие (0,2 мкм)            | 102                          | 0,31   | 0,36   | 0,52  | 0,65   | 0,28                             |
|                                  | 203                          | 0,28   | 0,42   | 0,58  | 0,70   | 0,40                             |
|                                  | 300                          | 0,23   | 0,45   | 0,63  | 0,76   | 0,55                             |
|                                  | 400                          | 0,12   | 0,50   | 0,69  | 0,85   | 0,65                             |
|                                  | 502                          | 0,08   | 0,54   | 0,74  | 0,88   | 0,80                             |
| Каолиновые                       |                              |  |  |       |        |                                  |
| Супертонкие (2,0 мкм)            | 101                          | 0,39   | 0,29   | 0,40  | 0,53   | 0,22                             |
|                                  | 208                          | 0,33   | 0,33   | 0,48  | 0,62   | 0,33                             |
|                                  | 305                          | 0,23   | 0,38   | 0,58  | 0,67   | 0,45                             |
|                                  | 405                          | 0,13   | 0,40   | 0,65  | 0,76   | 0,60                             |
|                                  | 506                          | 0,07   | 0,43   | 0,69  | 0,83   | 0,68                             |
| Ультратонкие (0,8 мкм)           | 95                           | 0,33   | 0,30   | 0,46  | 0,57   | 0,33                             |
|                                  | 205                          | 0,25   | 0,36   | 0,53  | 0,61   | 0,43                             |
|                                  | 300                          | 0,15   | 0,39   | 0,59  | 0,70   | 0,56                             |
|                                  | 405                          | 0,11   | 0,42   | 0,66  | 0,78   | 0,65                             |
|                                  | 511                          | 0,05   | 0,48   | 0,73  | 0,85   | 0,78                             |

Все образцы бумагоподобных материалов изготавливали двухслойными на листоотливном аппарате ЛОА-2 при концентрации 0,05 %. Прессование вели между двух сукон. Сушку осуществляли на горке или цилиндре при температуре  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В первой серии опытов изучали влияние массы  $1 \text{ м}^2$ , изменяемой от 100 до 500 г, на изолирующие свойства образцов плотностью  $(0,25 \pm 0,02) \text{ г/см}^3$ .

Коэффициенты звукопоглощения  $K_{з.п.}$  и теплопотерь  $K_{т.п.}$  определяли в СПб НИИ охраны труда по принятым

там методикам, остальные показатели – по государственным стандартам.

Известно [5], что  $K_{з,п}$  зависит от частоты звуковых колебаний и возрастает с их увеличением. Поэтому с теоретической и прикладной точек зрения представляло интерес определить  $K_{з,п}$  в широком диапазоне – от низких (50 Гц) до высоких (15 000 Гц) частот

колебаний звука. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют о закономерном увеличении прочности, коэффициента поглощения звука и снижении коэффициента теплопотери при повышении массы  $1 \text{ м}^2$  и уменьшении диаметра волокон.

Таблица 2

**Влияние плотности на основные свойства образцов из различных минеральных волокон**

| Минеральные волокна<br>(диаметр) | Плотность,<br>г/см <sup>3</sup> | Коэффициент<br>теплопотери $K_{т.п.}$ ,<br>% | Коэффициент<br>поглощения звука<br>$K_{з,п}$ , %, при частоте, Гц |       |        | Сопротивление<br>разрыву,<br>МПа |
|----------------------------------|---------------------------------|--|---|-------|--------|----------------------------------|
|                                  |                                 |  | 50  | 5 000 | 15 000 |                                  |
| Стекланные                       |                                 |  |   |       |        |                                  |
| Грубые (15,0 мкм)                | 0,05                            | 0,20   | 0,40  | 0,60  | 0,73   | 0,09                             |
|                                  | 0,08                            | 0,28   | 0,39  | 0,58  | 0,75   | 0,10                             |
|                                  | 0,15                            | 0,40   | 0,34  | 0,53  | 0,69   | 0,18                             |
|                                  | 0,21                            | 0,47   | 0,33  | 0,52  | 0,65   | 0,23                             |
|                                  | 0,25                            | 0,58   | 0,32  | 0,48  | 0,58   | 0,27                             |
| Супертонкие (2,0 мкм)            | 0,07                            | 0,15   | 0,42  | 0,63  | 0,80   | 0,12                             |
|                                  | 0,09                            | 0,16   | 0,40  | 0,60  | 0,78   | 0,16                             |
|                                  | 0,18                            | 0,25   | 0,39  | 0,58  | 0,70   | 0,23                             |
|                                  | 0,23                            | 0,33   | 0,37  | 0,53  | 0,68   | 0,31                             |
|                                  | 0,28                            | 0,39   | 0,35  | 0,49  | 0,60   | 0,38                             |
| Ультратонкие (0,7 мкм)           | 0,07                            | 0,11   | 0,46  | 0,68  | 0,85   | 0,14                             |
|                                  | 0,10                            | 0,12   | 0,44  | 0,65  | 0,80   | 0,21                             |
|                                  | 0,18                            | 0,19   | 0,43  | 0,61  | 0,75   | 0,35                             |
|                                  | 0,21                            | 0,25   | 0,42  | 0,56  | 0,68   | 0,40                             |
|                                  | 0,26                            | 0,30   | 0,38  | 0,53  | 0,65   | 0,42                             |
| Микротонкие (0,2 мкм)            | 0,08                            | 0,08   | 0,60  | 0,84  | 0,96   | 0,15                             |
|                                  | 0,09                            | 0,10   | 0,56  | 0,77  | 0,91   | 0,20                             |
|                                  | 0,15                            | 0,16   | 0,52  | 0,72  | 0,82   | 0,29                             |
|                                  | 0,19                            | 0,22   | 0,43  | 0,66  | 0,76   | 0,38                             |
|                                  | 0,26                            | 0,26   | 0,40  | 0,56  | 0,70   | 0,44                             |
| Каолиновые                       |                                 |  |   |       |        |                                  |
| Супертонкие (2,0 мкм)            | 0,06                            | 0,09   | 0,45  | 0,61  | 0,82   | 0,12                             |
|                                  | 0,11                            | 0,09   | 0,43  | 0,58  | 0,78   | 0,16                             |
|                                  | 0,16                            | 0,18   | 0,39  | 0,55  | 0,72   | 0,23                             |
|                                  | 0,22                            | 0,23   | 0,36  | 0,51  | 0,67   | 0,31                             |
|                                  | 0,25                            | 0,30   | 0,33  | 0,44  | 0,61   | 0,35                             |
| Ультратонкие (0,8 мкм)           | 0,07                            | 0,06   | 0,48  | 0,67  | 0,85   | 0,15                             |
|                                  | 0,12                            | 0,08   | 0,44  | 0,63  | 0,80   | 0,19                             |
|                                  | 0,15                            | 0,12   | 0,42  | 0,61  | 0,76   | 0,33                             |
|                                  | 0,21                            | 0,18   | 0,39  | 0,58  | 0,68   | 0,38                             |
|                                  | 0,24                            | 0,23   | 0,35  | 0,52  | 0,65   | 0,41                             |

Следует отметить, что применение в качестве связующего алюмината натрия в 1,4–1,5 раза эффективнее, чем сульфата алюминия [2]. Это хорошо согласуется с полученными ранее данными о влиянии природы соединений алюминия на прочность минерально-волоконистых композитов [1].

Повышение массы  $1 \text{ м}^2$  в изученных пределах увеличило сопротивление разрыву в 3–3,5 раза, а изменение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм – прочность образцов (в зависимости от их массы) в 1,3–1,6 раза. Одновременно у образцов из стеклянных волокон  $K_{т.п}$  снижается в 4–5 раз, а из каолиновых волокон – примерно в 6 раз. При этом  $K_{т.п}$  у последних на 20...25 % ниже, чем у образцов из стеклянных волокон, что объясняется их различной теплопроводностью. Понижение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм снижает  $K_{т.п}$  примерно в 2 раза.

Увеличение массы  $1 \text{ м}^2$  образцов в 5 раз повышает  $K_{з.п}$ , например, для средних частот в 1,3–1,5 раза независимо от природы волокон. Уменьшение диаметра стекловолокна от 15,0 до 0,2 мкм также повышает  $K_{з.п}$  в 1,3–1,4 раза.

Во второй серии опытов изучали влияние плотности на изоляционные и прочностные свойства образцов массой  $1 \text{ м}^2$  200 г из минеральных волокон различной природы и диаметра. Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Характер наблюдаемых закономерностей изменения свойств образцов из изучаемых волокон под влиянием повышения плотности (табл. 2) аналогичен характеру влияния роста массы  $1 \text{ м}^2$  отливок (см. табл. 1).

Количественные оценки их влияния на  $K_{т.п}$ ,  $K_{з.п}$  и прочность выглядят следующим образом. Повыше-

ние плотности образцов от 0,05...0,08 до 0,24...0,28 г/см<sup>3</sup> снизило  $K_{т.п}$  в 3–4 раза, т. е. практически, в прямой пропорции, но несколько меньше, чем увеличение массы  $1 \text{ м}^2$  от 100 до 500 г.

Изменения плотности и массы  $1 \text{ м}^2$  образцов повысили  $K_{з.п}$  в 1,3–1,5 раза, а прочность в 1,3–1,5 раза. Снижение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм увеличило  $K_{з.п}$  в 1,3–1,5 раза, а прочность в 1,6–1,8 раза, при этом  $K_{т.п}$  уменьшилось в 2,2–2,6 раза.

В заключение можно отметить, что в изученных пределах и при прочих равных условиях на  $K_{т.п}$  несколько большее влияние оказывают повышение массы  $1 \text{ м}^2$  и, соответственно, толщины образца, чем его плотность, тогда как на  $K_{з.п}$  влияние указанных факторов примерно одинаково. Снижение диаметра стеклянных волокон от 15,0 до 0,2 мкм повышает  $K_{т.п}$  и  $K_{з.п}$  в 2–2,5 раза, однако следует учитывать, что при этом стоимость 1 т волокна возрастает на порядок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубовый В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: Дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 370 с.
2. Дубовый В.К., Маркеев Д.П., Сысоева Н.В. Влияние массы  $1 \text{ м}^2$  и плотности на свойства бумагоподобных фильтровальных материалов из различных минеральных волокон // Лесн. журн. 2011. № 3. С. 111–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Дубовый В.К., Чижов Г.И. Высокоэффективные шумопоглощающие материалы из каолиновых волокон и бумажной макулатуры // Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья: Тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф., 21–23 мая 2003. Караваево, 2003. С. 76–77.
4. Дубовый В.К., Чижов Г.И., Князев А.Ю. Применение макулатуры в композиции технических видов картона из минеральных волокон // Создание конкурентноспособного оборудования и технологий для

изготовления бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: Тр. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево-Правдинский, 2002. С. 94–97.

5. *Дубовый В.К.* Стекланные волокна. Свойства и применение. СПб.: Изд-во «Нестор», 2003. 130 с.

6. *Канарский А.В.* Фильтровальные виды бумаги и картона для промышленных технических процессов. М.: Экология, 1991. 272 с.

7. *Каролл-Порчинский Ц.* Материалы будущего. М.: Химия, 1996. 180 с.

8. *Фляте Д.М.* Свойства бумаги. СПб.: НПО «Мир и семья», 1999. 380 с.

Поступила 18.04.11

*V.K. Dubovy<sup>1</sup>, D.P. Markeev<sup>2</sup>, N.V. Sysoeva<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

<sup>2</sup>JSC Gatchina Pilot Plant of Paper-making Equipment

<sup>3</sup>Northern (Arctic) Federal University

### **Effect of 1 m<sup>2</sup> Mass and Density on Properties of Papery Heat- and Noise-Insulating Materials from Different Mineral Fibers**

It is established that the increase of 1m<sup>2</sup> mass and density as well as the decrease of fiber diameter allows to obtain the wide range of insulating materials without changing composition at the decrease of heat loss coefficient in 2.5 – 4.0 times, increase of sound absorption and strength coefficient in 1.5 – 5.0 and 1.3 – 3.5 times accordingly.

Keywords: paper, mineral fibers, mineral-fiber composites, heat-noise insulation, density, mineral fibers size, heat loss coefficient, sound absorption coefficient, strength.