

Оригинальное практическое исследование
УДК 666.189.2
DOI: 10.46418/3033-7852_2026_2_2_8-15

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОЗИЦИИ ВОЛОКОН НА СВОЙСТВА СЕПАРАТОРНОЙ БУМАГИ

Елена Игоревна Симонова, Владимир Климентьевич Дубовый,
Елена Юрьевна Демьянцева

Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий
и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

© Симонова Е. И., Дубовый В. К., Демьянцева Е. Ю., 2026

Автор-корреспондент: Симонова Е. И., e-mail: bliznyakova1989@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена исследованию влияния компонентного состава сепараторной бумаги на её эксплуатационные свойства. В работе рассмотрены минерально-волоконистые полуфабрикаты как основа структуры бумаги: стеклянные волокна различных марок (диаметром 0,4 и 0,6 мкм) и асбестовые хризотилловые волокна мокрого обогащения (АХЛМ) с использованием связующего ПВА на основе дисперсии. Обсуждается ключевая роль морфологии волокон (диаметр, длина, фракционный состав) в формировании пористой структуры, капиллярности и механической прочности сепараторной бумаги. В отличие от растительных, минеральные волокна как материал для производства бумаги характеризуются ограниченной фибрилляцией, что требует детального анализа влияния их геометрических параметров на свойства конечного продукта.

Представлены методы оценки характеристик материалов. Результаты исследований демонстрируют зависимость потребительских свойств бумаги от содержания стеклянных волокон и асбеста. Установлено, что увеличение доли волокон асбеста АХЛМ повышает механическую прочность, но снижает зольность и капиллярную впитываемость. Меньший диаметр стеклянных волокон улучшает связеобразование и прочностные характеристики бумаги, тогда как более крупные волокна увеличивают гетерогенность и усложняют массоподготовку. Выводы подтверждают возможность целенаправленного регулирования свойств сепараторной бумаги путём подбора типа и содержания волокон для оптимизации баланса ионной проводимости, химической стойкости и механической прочности в агрессивных средах.

Ключевые слова: сепараторная бумага, стекловолокно, асбестовые волокна, минерально-волоконистые полуфабрикаты, химические источники тока, композиция по волокну, процессы связеобразования

Для цитирования: Симонова Е. И., Дубовый В. К., Демьянцева Е. Ю. Исследование влияния композиции волокон на свойства сепараторной бумаги // Технология и энергетика. 2026. № 2 (2). С. 8–15. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_2_2_8-15

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF FIBER COMPOSITION ON THE PROPERTIES OF SEPARATOR PAPER

Elena Igorevna Simonova, Vladimir Klimentievich Dubovy, Elena Yurievna Demyantseva

Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: E. I. Simonova, e-mail: bliznyakova1989@mail.ru

ABSTRACT

The paper studies the impact of the component composition of separator paper on its functional properties. This work considers mineral-fiber semi-finished products as the structural basis of the paper: glass fibers of various grades (0.4

and 0.6 μm in diameter) and AKhLM1 grade asbestos fibers, with PVA dispersion-based binder. The key role of fiber morphology (diameter, length, particle size distribution) in forming the porous structure, capillarity, and mechanical strength of separator paper is discussed. In contrast to plant fibers, mineral fibers as a papermaking material are characterized by restricted fibrillation, making it necessary to analyze in detail the influence of their geometric parameters on the properties of the end product.

The paper presents methods for assessing the properties of materials. The study results demonstrate that paper performance properties depend on glass fiber and asbestos content. Increasing the proportion of AKhLM asbestos fibers increases mechanical strength but decreases ash content and capillary absorbency. Glass fibers of smaller diameter improve bond formation and the paper's strength properties, whereas larger-diameter fibers increase heterogeneity and complicate the mass preparation process. The findings confirm that the properties of separator paper can be purposefully controlled by choosing the type and amount of fibers to achieve an optimal balance of ionic conductivity, chemical resistance, and mechanical strength in aggressive environments.

Keywords: separator paper, glass fiber, asbestos fibers, mineral-fiber semi-finished products, chemical power sources, fiber furnish, bond formation processes

For citation: Simonova E. I., Dubovy V. K., Demyantseva E. Yu. (2026) 'Investigation of the influence of fiber composition on the properties of separator paper', *Technology and Energy*, vol. 2, no. 2, pp. 8–15. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_2_2_8–15.

ВВЕДЕНИЕ

Сепараторная бумага предназначена для химических источников тока (ХИТ) с щелочными электролитами.

В качестве сырья для производства сепарационной бумаги могут использоваться минерально-волоконистые полуфабрикаты — стеклянные волокна различных марок, а также асбестовые волокна.

В основополагающих работах [1] неоднократно отмечалось, что наиболее важными при выборе волокна для производства бумагоподобного фильтровального материала являются такие параметры, как структурно-геометрические и поверхностные свойства, а также совместимость с другими компонентами, хемо- и термостойкость, морозо- и теплоустойчивость, гидрофобность или гидрофильность, механическая прочность [2].

Волокна асбеста представляют собой совокупность бесчисленного множества кристаллов. Размеры кристаллов и их расположения в волокне обуславливают ценные технические свойства, присущие асбесту, к числу которых относятся: способность к расщеплению на тончайшие волокна, механическую прочность на разрыв и растяжение, высокую адсорбционную способность, способность к набуханию, кислото- и щелочустойчивость, термостойкость, низкую электропроводность и другие. К числу специфических свойств асбеста, делающих его практически незаменимым в фильтровальном материале, относят электрокинетический потенциал и развитую удельную поверхность [3]. Наиболее распространенным

сырьем минерального происхождения для производства высокотехнологичных материалов являются стеклянные волокна [4].

Выделяют различные типы стекловолокон в зависимости от марки стекла и, соответственно, его химического состава, например, кремнеземные, щелочные, каолиновые, боросиликатные и др. [5]. Стекловолокон разных марок, несмотря на различия в составе и назначении, обладают общими характерными свойствами. К таким свойствам относятся: высокая прочность при растяжении (отношение прочности к удельному весу), тепло- и огнестойкость, хемостойкость, биостойкость, влагостойкость, низкий коэффициент линейного температурного расширения и высокая теплопроводность, низкая электропроводность, способность поглощать γ -лучи и быстрые и медленные нейтроны. При этом значения механических характеристик стекловолокон могут варьироваться в достаточно широких пределах. При подготовке массы стеклянные волокна, в отличие от целлюлозных, не фибриллируются и не набухают, их участки длиной 6–10 мм остаются прямолинейными и сохраняют неизменный диаметр. В результате межволоконные взаимодействия в бумагоподобных материалах из стеклянных волокон очень малы, из-за чего и прочность самого материала крайне низкая.

Прочность стекловолокнистого материала существенно зависит от диаметра образующих его волокон [6, 7].

Под названием «асбест» или «асбесты» объединяются тонковолокнистые минералы группы серпентина

¹ Translator's note: AKhLM grade asbestos (Russian standard) is a type of chrysotile, acid- and heat-resistant asbestos.



(хризотил-асбест) и амфибола (амфибол-асбесты), обладающие способностью при механическом воздействии легко расщепляться на отдельные прочные и гибкие волокна и выдерживать без изменений высокие температуры и химически агрессивные среды.

Бумага сепараторная на основе минерально-волоконистых полуфабрикатов и связующего применяется для химических источников тока [8]. В последнее время в результате создания современных источников тока нового поколения возникла потребность в прочной тонкой технологичной сепараторной бумаге с хорошими сепарационными характеристиками, поэтому проблема исследования влияния композиции по волокну на свойства сепараторной бумаги является актуальной [9, 10].

Целью данного исследования является изучение влияния компонентного состава по волокну на потребительские свойства сепараторной бумаги.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить требования к качественным показателям сепараторной бумаги;
- исследовать основные характеристики исследуемых исходных материалов;
- определить влияние содержания стеклянных волокон в композиции бумаги на ее потребительские свойства.

В последнее время в результате создания современных источников тока нового поколения возникла потребность в прочной тонкой технологичной сепараторной бумаге с хорошими прочностными характеристиками.

Для достижения поставленной цели были определены количественные параметры потребительских свойств сепараторной бумаги, которые представлены в таблице 1.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются: стекловолокно АО «Новгородский завод стекловолокна» марок: М20-МТВ 0,4 (ТУ 6–11–483–79); М20-УТВ 0,6 (ТУ 6–11–483–79); МЕ — МТВ 0,4 (ТУ 6–11–389–76); МЕ –УТВ 0,6 (ТУ 6–11–389–76), асбест-хризотил-овые волокна мокрого обогащения АЛХМ (ГОСТ 12871-67).

В таблице 2 представлены основные характеристики объектов исследования согласно ТУ.

Марки стекловолокна М20 и МЕ различаются по химическому составу, марка М20 представляет из себя боросиликатное стекло, которое обладает щелочестойкостью.

В качестве связующего использовали дисперсию ПВА Д51С (ГОСТ 18992). Так как для сепараторной бумаги один из ключевых параметров — это механическая прочность и высокая впитываемость капилляров, необходимо связующее, дальнейшая технология предполагает полученный минерально-волоконистый материал подвергать термообработке для создания капиллярно-пористой структуры.

Как известно, геометрия волокон и, как следствие, количество и размер пор являются определяющими при формировании структуры материалов с повышенной впитывающей и фильтрующей способностью. Поэтому исходя из высокой корреляционной зависимости бумагообразующих свойств стекловолокнистых полуфабрикатов и морфологии исходных волокон [7, 8] мы выполнили исследование по распределению фракций по диаметру и длине.

Таблица 1. Потребительские свойства сепараторной бумаги

Table 1. Consumer properties of separator paper

Сепараторная бумага	Толщина, мм	Масса, г/м ²	Впитываемость по Клемму, мм	Зольность, %	Разрушающее усилие, Н
	не более 0,15	50±5	не менее 25	не менее 85	не менее 8,0

Таблица 2. Характеристики объектов исследования согласно ТУ

Table 2. Characteristics of the objects under study according to the technical specifications

Марка стекловолокна/асбеста	Диаметр волокна, по каждому первичному определению, мкм	Содержание неволоконистых включений, % не более	Диапазон температур, °С
МТВ 0,4	0,40 ±0,05	1,0	-200 до + 450
УТВ 0,6	0,6 ±0,1	1,0–2,0	-200 до + 450



Распределение фракций по диаметру и длине проводили на аппарате Morfi Contrast согласно руководству пользователя и световой микроскопии.

Микрофотографии выполнены на сканирующем электронном микроскопе SEM Sigma VPZEISS (ускоряющее напряжение 10 кВ, детектор InLens), ЦКП НО «Арктика».

В целях прогнозирования потребительских свойств минерально-волоконистых полуфабрикатов рассматривали основные бумагообразующие свойства объектов исследования, используемых для получения сепараторной бумаги. Для определения потребительских свойств сепараторной бумаги использовали стандартные методики: определение массы метра квадратного бумаги — ГОСТ Р ИСО 536–2013; определение толщины бумаги — ГОСТ Р ИСО 534–2012; определение капиллярной впитываемости (метод Клемма) — ГОСТ 12602; определение разрушающего усилия — ГОСТ ИСО 1924–1–96; зольность ГОСТ 7629.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунках 1–4 представлено фракционное распределение волокон по диаметру (мкм) и длине (мм) в зависимости от марки стекловолокна.

Из представленных результатов исследования видно, что стеклянные волокна, маркированные диаметром 0,4 мкм (имеют диаметр в диапазоне 0,35–0,45 мкм), согласно фракционному распределению составляют 46,69% от общего количества изученных волокон; волокна с диаметром 0,55–0,65 мкм — около 25%; фракция 0,15–0,35 мкм — 22,5%; свыше 0,75 мкм — 22,8%; менее 0,05 мкм — 2,9%. При этом стекловолокна марок М20 имеют фракционный состав в диапазоне 0,35–0,45 мкм



Рисунок 3. Фракционное распределение диаметра волокон марки М20-УТВ 0,6 мкм

Figure 3. Fiber diameter fractional distribution for grade M20-SFF 0,6, μm



Рисунок 1. Фракционное распределение диаметра волокон марки М20-MTB 0,4 мкм

Figure 1. Fiber diameter fractional distribution for grade M20-MGF 0,4, μm

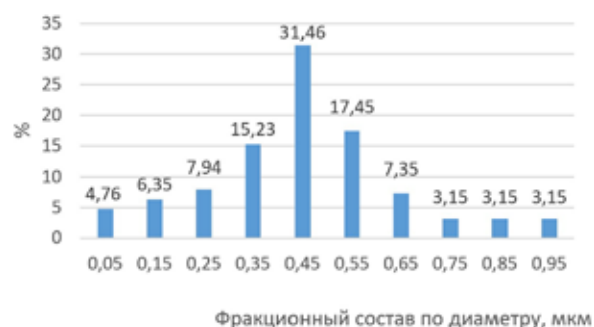


Рисунок 2. Фракционное распределение диаметра волокон марки ME-MTB 0,4 мкм

Figure 2. Fiber diameter fractional distribution for grade ME-MGF 0,4, μm

в 51,98% случаев; 0,55–0,65 мкм — 25,32%; 31,55% имеет фракции 0,15–0,35 мкм; 10,71% — свыше 0,75 мкм; 4,12% — 0,05 мкм.

Стеклянные волокна, имеющие маркировку ME-УТВ 0,6 мкм (диапазон диаметров 0,55–0,65 мкм)

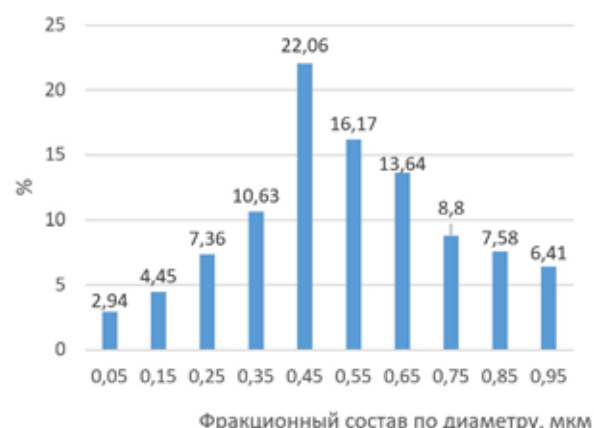


Рисунок 4. Фракционное распределение диаметра волокон марки ME-УТВ 0,6 мкм

Figure 4. Fiber diameter fractional distribution for grade ME-SFF 0,6, μm



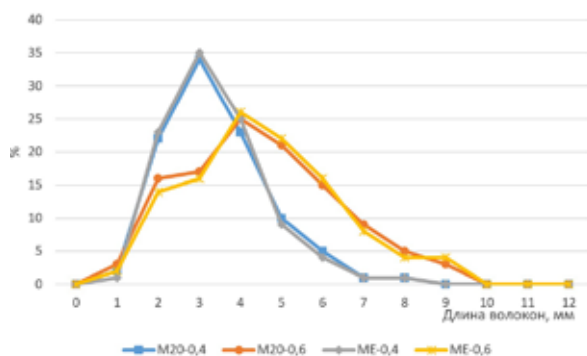


Рисунок 5. Фракционное распределение по длине стеклянных волокон

Figure 5. Glass fiber length fractional distribution

составляют менее 30%; 40% приходится на фракции 0,25–0,35 мкм; 22,8% содержит фракции диаметром 0,75–0,95 мкм; 2,94% — менее 0,05 мкм. А для стеклянных волокон марки М20-УТВ 0,6 мкм диапазон диаметров 0,55–0,65 мкм составляет 33,88%; 17,75% приходится на фракции 0,25–0,35 мкм; 21,78% содержит фракции диаметром 0,75–0,95 мкм, 2,56% — менее 0,05 мкм.

Стеклянные волокна марок МЕ-МТВ и М20-МТВ диаметром 0,4 мкм более равномерны по своему фракционному составу, чем стеклянные волокна марок МЕ и М20 диаметром 0,6 мкм. При этом у последних отмечено смещение диаметра в большую область размерности диаметра волокна.

Установлено, что стеклянные волокна марок М20 и МЕ УТВ 0,6 обладают большей гетерогенностью по диаметру волокна. Стеклянные волокна с большим диаметром сложнее подвергаются процессам массоподготовки.

Волокна с меньшим диаметром обладают большей удельной поверхностью, а следовательно, и большей способностью к связеобразованию. При этом с увеличением диаметра волокна жесткость при изгибе увеличивается, что ведет к получению бумаги меньшей плотности.

На следующем этапе были проведены исследования по определению длины стеклянных волокон. Результаты исследования представлены на рисунке 5.

Представленные результаты исследования свидетельствуют о том, что основной диапазон длин волокон М20-МТВ 0,4, МЕ-МТВ 0,4 находится в пределах от 1,5 мм до 5,5 мм. При этом основная длина волокна для марок М20-УТВ 0,6 и МЕ-УТВ 0,6 находится в диапазоне от 2 мм до 7 мм.

Необходимо отметить, что система распределения длин волокон достаточно гетерогенна, и при процессах массоподготовки стеклянных волокон М20УТВ 0,6 и МЕ-УТВ 0,6 понадобится больше времени, чем для стеклянных волокон М20-МТВ0,4 и МЕ-МТВ 0,4.

Так как использование сепараторной бумаги предполагает воздействие агрессивных щелочных сред, дальнейшие исследования целесообразно проводить с щелочестойким стеклом марки М20-МТВ0,4 и М20-УТВ 0,6.

Микрофотографии марок исследуемого стекла изображены на рисунке 6.

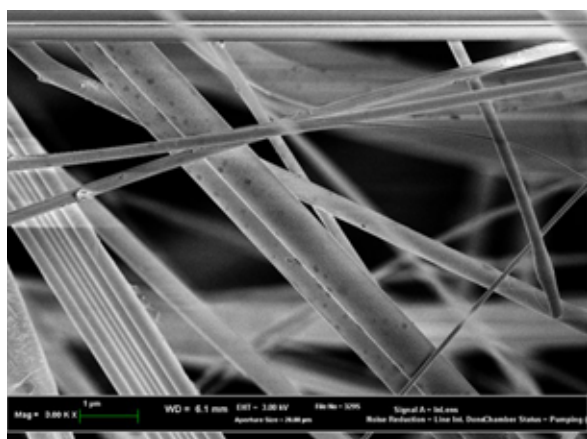
Средняя длина волокна асбеста АХЛМ составляет 1,5 мм диаметром 0,2 мкм, АХЛМ представляет собой материал, не менее чем на 96% имеющий фракцию более 0,25 мм. Микрофотографии марок исследуемого асбеста представлены на рисунке 7.

Из представленных на рисунке 7 микрофотографий отчетливо видно, что волокно асбеста способно разделяться на фибриллы. Оно более гибкое по сравнению со стекловолокном, и его способность к фибриллированию положительно сказывается на процессах связеобразовании.

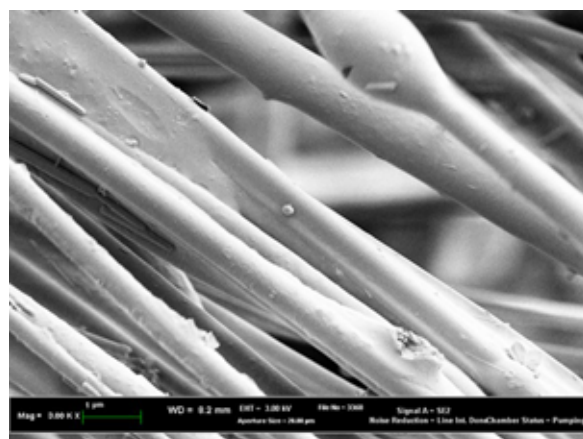
Для проведения исследования влияния содержания стеклянных волокон марки М20-МТВ 0,4, М20-УТВ 0,6 и асбестовых волокон АХЛМ в композиции сепараторной бумаги на ее основные свойства были изготовлены лабораторные образцы сепараторной бумаги с различным содержанием стекловолокна и асбеста марки АХЛМ. В качестве связующего использовали дисперсию ПВА Д51С с расходом 10% в перерасчете на абсолютно сухое волокно. Затем у изготовленных образцов определяли толщину, капиллярную впитываемость (метод Клемма), зольность, а также разрушающее усилие. Результаты исследований приведены в таблицах 3 и 4.

Из представленных в таблицах данных можно заключить, что с увеличением доли в композиции асбеста марки АХЛМ разрушающее усилие возрастает и достигает оптимального значения (если соблюдены заявленные (табл. 1) необходимые потребительские свойства) при 40% содержания асбеста марки АХЛМ в композиции. С увеличением доли асбеста марки АХЛМ снижается показатель толщины; образцы бумаги, содержащие большую долю асбеста, более плотные, однако одновременно с этим снижается показатель зольности и капиллярной впитываемости (метод Клемма).

Образцы бумаги, содержащие в своем составе стекловолокно марки М20-УТВ 0,6, при прочих равных условиях имеют большую толщину, чем образцы, содержащие стекловолокно марки М20-МТВ 0,4.



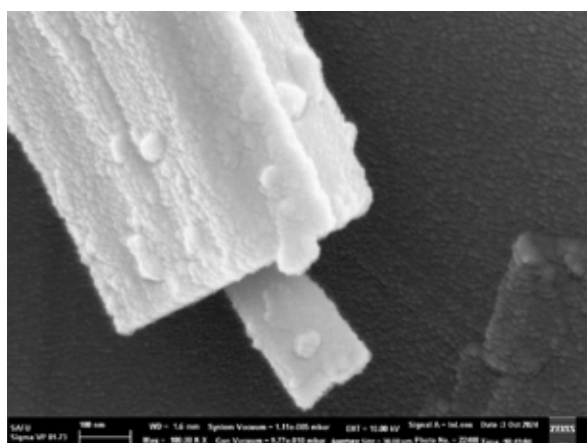
а) M20-MTB 0,4



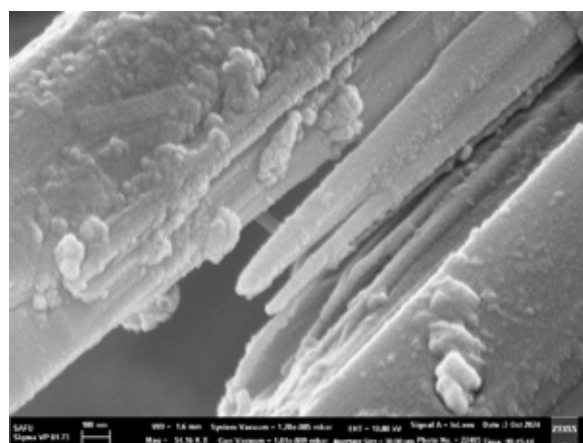
б) M20-УТВ 0,6

Рисунок 6. Микрофотографии стекловолокна, выполненные на сканирующем электронном микроскопе SEM Sigma VP ZEISS (Mag=3.00 kx): а) WD = 6,1 мм; б) WD = 8,2 мм; EHT = 3.00 kV

Figure 6. Micrographs of glass fiber obtained using a scanning electron microscope SEM Sigma VP ZEISS (Mag=300 x): а) WD=6.1 mm, (b) WD = 8.2 mm, EHT = 3.00 kV



а) M20-MTB 0,4



б) M20-УТВ 0,6

Рисунок 7. Микрофотографии асбеста АХЛМ, выполненные на сканирующем электронном микроскопе SEM Sigma VP ZEISS (Mag=100 kx): а) WD = 1,6 мм, б) WD = 8,2 мм; EHT = 10 kv

Figure 7. Microphotographs of AKhLM grade asbestos, obtained using a scanning electron microscope SEM Sigma VP ZEISS (Mag=100 kx): а) WD = 1.6 mm, б) WD = 8.2 mm, EHT = 10 kv

Таблица 3. Влияние содержания стеклянных волокон марки M20-MTB 0,4 и асбестовых волокон АХЛМ в композиции сепараторной бумаги на ее свойства

Table 3. Effect of M20-MGF 0.4 glass fiber and AKhLM asbestos fiber content on separator paper properties

M20-MTB 0,4	АХЛМ	Толщина, мм	Масса, г/м ²	Впитываемость по Клемму, мм	Зольность, %	Разрушающее усилие, Н
100%	0%	0,18	50	150	95	4,2
80%	20%	0,17	50	145	85	6,7
60%	40%	0,15	50	145	84	9,5
40%	60%	0,14	50	140	83	10,1
20%	80%	0,14	50	136	82	11,4
0%	100%	0,14	50	130	80	12,2

Таблица 4. Влияние содержания стеклянных волокон марки М20-УТВ 0,6 и асбестовых волокон АХЛМ в композиции сепараторной бумаги и ее свойства

Table 4. Effect of M20-SFF 0.6 glass fiber and AKhLM asbestos fiber content on separator paper properties

М20-УТВ 0,6	АХЛМ	Толщина, мм	Масса, г/м ²	Впитываемость по Клемму, мм	Зольность, %	Разрушающее усилие, Н
100%	0%	0,20	50	170	93	3,1
80%	20%	0,18	50	160	90	5,0
60%	40%	0,15	50	155	85	8,2
40%	60%	0,15	50	150	83	9,8
20%	80%	0,15	50	145	81	11,2
0%	100%	0,14	50	130	80	12,2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стеклянные волокна диаметром 0,4 мкм более равномерны по своему фракционному составу, чем стеклянные волокна марок МЕ и М20 диаметром 0,6 мкм. Установлено что, стеклянные волокна с большим диаметром обладают и большей гетерогенностью и сложнее подвергаются процессам массоподготовки. Волокна с меньшим диаметром обладают большей удельной поверхностью, а следовательно, и большей способностью к связеобразованию.

С увеличением доли в композиции асбеста марки АХЛМ разрушающее усилие возрастает и достигает оптимального значения, если соблюдены заявленные необходимые потребительские свойства, при 40% содержания асбеста марки АХЛМ в композиции сепараторной бумаги.

Список литературы

1. Канарский А. В. Фильтровальные виды картона для промышленных технологических процессов. М.: Экология, 1991. 272 с.
2. ТЭК-НН: официальный сайт компании. URL: <http://www.tex-filter.ru/flat.htm>.
3. Дубовый В. К. Стеклянные волокна. Свойства и применение. СПб.: Нестор, 2003. 130 с.
4. Щербак Н. В. Моделирование композиции сепараторной бумаги из минерального и растительного сырья для повышения прочности и впитывающей способности / Н. В. Щербак, Е. В. Дубовой, М. А. Лоренгель, А. С. Смолин // Известия вузов. Лесной журнал. 2018. № 1. С. 120–129. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120.
5. EP 4113728 A1, MPK H01M50/409. Separator for closed lead acid storage batteries, said separator using glass fibers and thermally fusible organic fibers / S. Mitsui, T. Ueyama, N. Kimura. Заявл. 26.02.2020; опубл. 04.01.2023.
6. Смолин А. С. Оценка эффективности очистки воздуха минеральноволокнистыми сепараторными бумагами / А. С. Смолин, Н. В. Щербак, М. А. Лоренгель,

Е. В. Дубовой // Известия вузов. Лесной журнал. 2017. № 6. С. 126–133. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126.

7. Tandon P. Optimal design of absorptive glass mat (AGM) separator with fastest electrolyte uptake using X-ray micro-computed tomography / P. Tandon, Q. He, S. D. Kim, V. Kumar // Journal of Energy Storage. 2019. Vol. 21. Pp. 505–509. DOI: 10.1016/j.est.2018.12.008.
8. Tandon P. Deconstructing three-dimensional (3D) structure of absorptive glass mat (AGM) separator to tailor pore dimensions and amplify electrolyte uptake / P. Tandon, Q. He, S. D. Kim, V. Kumar // Journal of Power Sources. 2018. Vol. 384. Pp. 417–425. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2018.03.008.
9. 360iResearch. Ultrafine Glass Fiber for AGM Separator Market — Global Forecast 2026–2032: аналит. отчёт. 2026. 195 с. Отчёт № 6080379.
10. Bosson Research. Global Absorbent Glass Mat (AGM) Separator Market Research Report 2025 (Status and Outlook): аналит. отчёт. 2025.

References

1. Kanarsky A. V. Filtration types of cardboard for industrial technological processes / A. V. Kanarsky. Moscow: Ecology, 1991. 272 p.
2. Official website of the Nizhny Novgorod company TEKS-NN [Electronic resource]. Access mode: <http://www.tex-filter.ru/flat.htm>, free. Title from the screen.
3. Dubovyi V. K. Glass fibers. Properties and Application / V. K. Dubovyi. SPb.: Nestor Publishing House, 2003. 130 p.
4. Shcherbak N. V. Modeling of the composition of separator paper from mineral and vegetable raw materials to increase the strength and absorbency / N. V. Shcherbak, E. V. Dubovoi, M. A. Lorentgel, A. S. Smolin // Izvestiya vuzov. Lesnoy Zhurnal. 2018. No. 1. Pp. 120–129. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.1.120
5. EP 4113728 A1, MPK H01M50/409. Separator for closed lead acid storage batteries, said separator using glass fibers and thermally fusible organic fibers / S. Mitsui, T. Ueyama, N. Kimura. Appl. 26.02.2020; publ. 04.01.2023.
6. Smolin A. S. Evaluation of the Effectiveness of Air Purification by Mineral Fiber Separation Papers / A. S. Smolin,



- N. V. Shcherbak, M. A. Lorentgel, and E. V. Dubovoy // *Izvestiya Vuzov. Lesnoy zhurnal*. 2017. No. 6. pp. 126–133. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126.
7. Tandon P. Optimal design of absorbent glass mat (AGM) separator with fastest electrolyte uptake using X-ray micro-computed tomography / P. Tandon, Q. He, S. D. Kim, V. Kumar // *Journal of Energy Storage*. 2019. Vol. 21. Pp. 505–509. DOI: 10.1016/j.est.2018.12.008.
 8. Tandon P. Deconstructing three-dimensional (3D) structure of absorbent glass mat (AGM) separator to tailor pore dimensions and amplify electrolyte uptake / P. Tandon, Q. He, S. D. Kim, V. Kumar // *Journal of Power Sources*. 2018. Vol. 384. Pp. 417–425. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2018.03.008.
 9. 360iResearch. Ultrafine Glass Fiber for AGM Separator Market Global Forecast 2026 2032: analytical report. 2026. 195 p. Report No. 6080379.
 10. Bosson Research. Отчет о глобальном исследовании рынка абсорбирующих стеклянных матов (AGM) в 2025 году (состояние и перспективы): отчёт. 2025.

■ Информация об авторах

Симонова Елена Игоревна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; ResearcherID: AFK-9147–2022, ORCID: 0000-0002-3657-030X; SPIN-код: 2037–4410, AuthorID: 985416, e-mail: bliznyakova1989@mail.ru.

Дубовый Владимир Климентьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета

промышленных технологий и дизайна, 198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; ResearcherID: IDW 1235–2017, ORCID: 0000-0002-2903-3872, SPIN-код: 2398–8025, AuthorID: 315289, e-mail: dubovy2004@mail.ru.

Демьянцева Елена Юрьевна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физической и коллоидной химии Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна; 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4; ResearcherID: P-5165–2019, ORCID: 0000-0001-9570-1827, SPIN-код: 5490–5571, AuthorID: 183929; e-mail: demyantseva@mail.ru.

■ Information about the authors

Simonova Elena Igorevna, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Pulp and Paper Technology of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, Russia, 198095; ResearcherID: AFK-9147–2022, ORCID: 0000-0002-3657-030X; SPIN code: 2037–4410, AuthorID: 985416, e-mail: bliznyakova1989@mail.ru.

Dubovy Vladimir Klimentievich, Doc. Sci. in Engineering, Professor, Professor at the Department of Pulp and Paper Technology of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial

Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street, St. Petersburg, Russia, 198095; ResearcherID: IDW 1235–2017, ORCID: 0000-0002-2903-3872, SPIN code: 2398–8025, AuthorID: 315289, e-mail: dubovy2004@mail.ru.

Demyantseva Elena Yurievna, PhD in Chemistry, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Physical and Colloidal Chemistry of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technology and Design, 198095, St. Petersburg, Ivan Chernykh St., 4; ResearcherID: P-5165–2019, ORCID: 0000-0001-9570-1827, SPIN code: 5490–5571, AuthorID: 183929; e-mail: demyantseva@mail.ru.

