

М.В. Талипова, А.В. Лянг, Н.В. Щербак

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ БУМАГ ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ДЛЯ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ

Введение. Современный уровень развития техники в аэрокосмической, оборонной и в ряде других отраслей вызывает необходимость разработки новых материалов, обладающих неприсущими природным материалам свойствами. Среди них особое место занимают изделия из минеральных волокон, получаемые различными способами, в частности, методами бумажного производства. Бумагоподобные материалы, обладая негорючестью, стойкостью к коррозии и биовоздействию, достаточно высокой прочностью и сравнительно малой плотностью в сочетании с прекрасными оптическими, электро-, тепло-, звукоизоляционными свойствами, находят все более широкое применение в различных областях техники [Дубовый, Чижов, 2005].

У авторов, как представителей отрасли средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), вызывает глубокий интерес стекловолоконный материал, обладающий высокими защитными свойствами от аэрозолей и низким сопротивлением воздушному потоку.

Фильтры, изготовленные на основе стекловолоконного материала, классифицируются согласно ГОСТ Р ЕН 1822-1–2010 на три группы:

- группа E – ЕРА-фильтры (Efficient Particulate Air filter/эффективная очистка воздуха);
- группа H – HEPA-фильтры (High Efficient Particulate Air filter/ высокоэффективная очистка воздуха);
- группа U – ULPA-фильтры (Ultra Low Penetration Air filter/ сверхэффективная очистка воздуха).

На сегодняшний день для фильтрации аэрозолей в изделиях СИЗОД, а именно, в противоаэрозольных и комбинированных фильтрах используются в том числе фильтровальные материалы на основе стекловолокна. Противоаэрозольные фильтры должны соответствовать требованиям, указанным в ГОСТ 12.4.246–2016, согласно которому существует три класса противоаэрозольной защиты: P1, P2, P3. Фильтр с классом защиты P1 удерживает до 80% аэрозолей. Фильтр с классом защиты P2 удерживает до

95% вредных аэрозолей. Маркировка изделия обозначением Р3 предполагает защиту пользователя не менее чем от 99% аэрозолей, а также использование СИЗОД при более опасных условиях работы. Производители обычно стремятся разработать изделие с классом защиты Р3 и, соответственно, предъявляют высокие требования к используемому фильтровальному материалу. Противоаэрозольные фильтры различных классов для защиты органов дыхания разрабатываются на основе стекловолокнистых фильтровальных материалов групп HEPA и ULPA.

Актуальной проблемой в Российской Федерации является отсутствие собственного производства стекловолокнистых фильтровальных материалов, имеющих удовлетворительные технические характеристики при производстве противоаэрозольных фильтров.

Следует отметить, что противоаэрозольные фильтры могут изготавливаться из материала на основе полипропиленовых волокон (ППВ) и иметь отличные принципы фильтрации аэрозолей от фильтров, изготовленных на основе стекловолокнистых материалов.

Почему же у разработчиков фильтров различных отраслей промышленности интерес направлен именно к стекловолокнистым материалам? Ответ заключается в стремлении к эргономичности изделий и увеличению фильтрующей поверхности. Стекловолокнистый материал способен к гофрированию. Гофры (складки) обеспечивают изделию продолжительный срок службы, низкое сопротивление дыханию и более низкий показатель проницаемости.

Материал на основе ППВ также способен к гофрированию, но вследствие большей толщины складки полипропиленового материала количество гофр будет невелико, и, соответственно, площадь фильтрации аэрозолей будет меньше. Поэтому ППВ находят свое применение, в основном, в плоских противоаэрозольных фильтрах открытого типа. Гофрированные стекловолокнистые материалы заключают в закрытый корпус, что позволяет получать фильтр с защитой от влаги, загрязнений и механических повреждений.

Стекловолокнистые гофрированные фильтры также применяются в производстве бытового оборудования, современных системах вентиляции и кондиционирования воздуха, предназначенных для детских заведений, частных домов и квартир, больниц, мест общественного пользования.

Из-за широкой области применения стекловолокнистого фильтровального материала возникла задача о необходимости научных разработок, организации отечественных производственных площадок по выпуску стекло-

волоконистых материалов класса HEPA, ULPA, разработке методик проверки качества, коррелирующих с европейскими стандартами, подготовке кадров и оснащении лабораторий технического контроля производства.

Целью наших научных интересов являлось изучение международного рынка фильтровальных материалов (ФМ) на основе стекловолокна, анализ образцов ФМ иностранного производства на рынке РФ как предпосылка к созданию отечественных аналогов и определение оптимальных параметров показателей качества стекловолокнистых ФМ при применении в СИЗОД.

Материалы и методика исследования. Определяющими показателями качества противоаэрозольного фильтра являются сопротивление потоку воздуха и проницаемость фильтра тест-аэрозолями, установленные в ГОСТ 12.4.246–2016 в зависимости от класса защиты.

Сопротивление дыханию является основной аэродинамической характеристикой респираторов и их конструктивных элементов (фильтров, клапанов) и определяется перепадом давления до и после объекта испытаний на потоке воздуха [Петрянов, 1984].

Проницаемость фильтра – это отношение значения массовой концентрации тест-аэрозоля в воздушном потоке за фильтром к значению массовой концентрации аэрозоля в воздушном потоке до фильтра, измеренного с использованием одного и того же типа средства измерения и умноженное на 100% ГОСТ 8.620–2013.

В работе представлены результаты исследования четырех образцов импортного производства. Испытуемые образцы являются серийно выпускаемым ФМ. Характеристики образцов, заявленные производителями, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики объектов исследования

Characteristics of the objects of study

Марка образца	Класс очистки по ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010	Эффективность очистки, %	Производитель (страна, фирма)
HEPH 1401	H14	$\geq 99,995$	Италия, Ahlstrom S.p.A.
HV 5793	H12	$\geq 99,5$	Германия, Hollingsworth&Vose
HV 5593	H13	$\geq 99,95$	Германия, Hollingsworth&Vose
CH-14HP	H14	$\geq 99,995$	Китай, ZISUN

Качество образцов контролировали по следующим показателям:

1. Сопротивление ФМ постоянному потоку воздуха при расходе воздуха $0,05 \text{ дм}^3/\text{мин}\cdot\text{см}^2$ (линейная скорость потока воздуха $0,83 \text{ см/с}$) согласно ГОСТ 25099–82 на установке «Поток» СПВ-9 при площади отверстия зажимного устройства 50 см^2 .

2. Коэффициент проницаемости ФМ при объемном расходе стандартного масляного тумана $0,05 \text{ дм}^3/\text{мин}\cdot\text{см}^2$ (линейная скорость потока воздуха $0,83 \text{ см/с}$) согласно ГОСТ 12.4.156–75 на установке ЗУМТ-АТЧ-ФЭН ВА 8641 при площади отверстия зажимного устройства 50 см^2 .

3. Прочность при растяжении на вертикальной разрывной машине ИТС 101-0.5 (ООО «ТОЧПРИБОР», г. Иваново) по методике ГОСТ ИСО 1924-1–96. Скорость испытания 25 мм/мин . Размер испытываемых образцов $180 \times 15 \text{ мм}$.

4. Толщина ФМ по ГОСТ 27015–86 при давлении 100 кПа , площади контакта 2 см^2 и по ГОСТ 22186–93 при давлении 2 кПа и площади контакта 10 см^2 .

На количество гофр в изделии и, следовательно, на увеличение площади фильтрации влияет толщина материала. В этой связи у ФМ была определена толщина по ГОСТ 27015–86 при давлении 100 кПа , площади контакта 2 см^2 и по ГОСТ 22186–93 при давлении 2 кПа и площади контакта 10 см^2 .

Одним из важнейших свойств бумаги является механическая прочность. Повышенные требования механической прочности предъявляются к мешочной, шпагатной, обёрточной и другим видам бумаги. Прочность бумаги выражают различными показателями, характеризующими сопротивление бумаги разрыву, продавливанию, раздиранию, надрыву, удлинению до разрыва и другими [Фляте, 1988].

При изготовлении СИЗ чаще всего используется ФМ в гофрированном виде, загерметизированный с корпусом фильтра клеем-расплавом, в связи с чем он должен обладать повышенной механической прочностью, при этом обеспечивая оптимальные показатели проницаемости аэрозолей и сопротивления воздушному потоку.

В связи с этим образцы должны обладать следующими характеристиками качества:

1. Прочность на растяжение в машинном направлении (МН), Н/м;
2. Прочность на растяжение в поперечном направлении (ПН), Н/м;
3. Относительное удлинение в МН, %;
4. Относительное удлинение в ПН, %.

Дополнительно рассчитывались интегральные характеристики качества.

Результаты исследования. Результаты испытаний образцов по сопротивлению постоянному потоку воздуха и коэффициенту проницаемости по масляному туману представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения сопротивления и проницаемости ФМ

Resistance and permeability measurements of FM

Наименование показателя	НЕРН 1401	НВ 5593	НВ 5793	СН-14НР
Сопротивление постоянному потоку воздуха, мм вод. ст.	5,2÷5,5	5,7÷6,0	4,2÷4,7	5,2÷5,5
Коэффициент проницаемости по масляному туману, %	0,00006÷ 0,00008	0,00004÷ 0,00008	0,00120÷ 0,00160	0,00020÷ 0,00022

Анализ данных табл. 2 показал закономерное увеличение сопротивления потоку воздуха при снижении коэффициента проницаемости. Образец НВ 5593 отличается наиболее высоким сопротивлением и наиболее низким коэффициентом проницаемости.

Результаты измерения толщины представлены в табл. 3. Значение толщины, измеренное по ГОСТ 27015–86 при давлении 100 кПа, в 1,6÷1,8 раз меньше, чем значение толщины тех же образцов, измеренных по ГОСТ 22186–93 при давлении 2 кПа. Равномерность толщины испытываемых образцов определялась с помощью расчета коэффициента вариации – отношения стандартного отклонения к среднему значению, который показывает степень изменчивости по отношению к среднему показателю выборки.

Таблица 3

Результаты измерения толщины

Results of thickness measurements

Образец	Давление на образец, кПа	Измерение толщины, мкм			Коэффициент вариации, %
		сред.	мин.	макс.	
НЕРН 1401	2	584	570	597	1,56
	100	313	302	318	1,76
НВ 5593	2	484	474	492	1,22
	100	294	282	304	2,04
НВ 5793	2	480	468	488	1,32
	100	289	276	301	3,04
СН-14НР	2	537	531	545	0,67
	100	309	301	315	1,35

Следует отметить высокую равномерность всех исследуемых образцов по толщине, о чем свидетельствуют низкие значения коэффициента вариации.

Высокая равномерность по толщине наблюдается у материала СН-14НР, что, предположительно, оказывает влияние на наиболее высокие результаты по механической прочности и стабильные результаты по сопротивлению воздушному потоку и проницаемости тест-аэрозолями.

У образца НВ 5793 наблюдается высокий коэффициент вариации при давлении 100 кПа. Разница между максимальной и минимальной величиной толщины составляет 25 мкм, что может, предположительно, приводить к нестабильным результатам сопротивления воздушному потоку, проницаемости по тест-аэрозолям.

Самые низкие значения толщины отмечены у образцов НВ 5593 и НВ 5793.

Из табл. 2, 3 видно, что образцы НЕРН 1401 и СН-14НР находятся на одном уровне по толщине (584 и 537 мкм соответственно) и сопротивлению воздушному потоку ($5,2 \div 5,5$ мм вод. ст.), однако уровень значений по коэффициенту проницаемости отличается на порядок (0,0080 и 0,0002% соответственно).

Образцы НВ 5593 и НВ 5793 имеют сопоставимые значения толщины, при этом сопротивление воздушному потоку (6,0 и 4,7 мм вод. ст. соответственно) и коэффициент проницаемости (0,00008 и 0,00160% соответственно) у образцов различны. Возможно, различный композиционный состав по волокну и по химикатам в образцах объясняет разницу качественных показателей.

Как разработчикам СИЗОД, нам было интересно подобрать оптимальный вариант ФМ с определенными механическими показателями, наименьшим сопротивлением потоку воздуха и допустимыми значениями коэффициента проницаемости, ориентируясь на нормы, регламентированные в технических условиях для гражданских СИЗОД и ГОСТ 12.4.246–2016 по классу противоаэрозольной защиты РЗ. Максимальная проницаемость фильтра тест-аэрозолями (парафиновое масло или хлорид натрия) согласно ГОСТ 12.4.246–2016 составляет 0,05%, промышленным маслом (коэффициент проницаемости по масляному туману) в технических условиях для гражданских СИЗОД составляет не более 0,001%.

Стоит отметить, что на данный момент не существует методики, которая могла бы скоррелировать результаты, полученные при измерении коэффициента проницаемости по масляному туману с величинами проницаемости, полученными при измерении эффективности фильтра по парафиновому

маслу или хлориду натрия, указанными в ГОСТ 12.4.246–2016, и определить принадлежность фильтра к классу защиты (P1, P2, P3) по масляному туману. Но этого можно достичь экспериментальным путем, сопоставляя статистику получаемых результатов по обоим методикам.

Исходя из нормы коэффициента проницаемости по масляному туману (не более 0,001%), указанной в технических условиях для гражданских СИЗОД, имеющих сертификат соответствия по результатам проверки в аккредитованных центрах согласно ГОСТ 12.4.246–2016, можно обоснованно полагать, что значения коэффициента проницаемости по масляному туману, не превышающие показатель 0,001%, будут соответствовать классу защиты P3 при проверке проницаемости по парафиновому маслу и хлориду натрия согласно ГОСТ 12.4.246–2016.

Целесообразно также рассмотреть материалы с точки зрения их прочности при растяжении.

Измеряемые при растяжении показатели (разрушающее усилие и удлинение в момент разрушения) являются структурно-чувствительными, что подтверждается их повышением по мере увеличения ширины образцов.

Разрушающее усилие – максимальная сила, выдерживаемая образцом до разрушения в условиях, установленных стандартом ГОСТ ИСО 1924-1–96.

Удлинение в момент разрушения – увеличение длины образца при растяжении, измеренное в момент разрушения в условиях, установленных в ГОСТ ИСО 1924-1–96. Оно характеризует способность бумаги к прохождению печатной машины, а также пригодность для послепечатных процессов: биговки, брошюровки.

Результаты измерений представлены в табл. 4, 5. Испытания проводили в двух взаимно перпендикулярных направлениях приложения нагрузки. Для этого образцы вырезали в машинном и поперечном направлениях ГОСТ 7585.1–94.

Из табл. 4 видно, что наиболее высокое удлинение в МН у образцов НВ 5593 и СН-14НР. В ПН самый высокий показатель у материала СН-14НР. С точки зрения гофрирования, вырезки заготовки и герметизации (заливки клеем-расплавом) корпуса фильтра с заготовкой, а также эксплуатации изделия при различных температурах, можно предположить, что образец СН-14НР лучше выдержит эксплуатационные механические нагрузки, так как отличается большей способностью к растяжению в ПН. Повышенная растяжимость бумаги способствует перераспределению напряжений в структуре образцов и снижает вероятность их разрушения в результате локализации дефектов при растягивающих нагрузках.

Таблица 4

Усредненные данные измеренных показателей при испытаниях на растяжение**Averages of measured values from tensile tests**

Образец	Направление приложения нагрузки	Разрушающее усилие, Н	Удлинение в момент разрушения, мм
НЕРН 1401	МН	13,86	1,27
	ПН	6,20	1,50
НВ 5593	МН	13,01	1,47
	ПН	8,48	2,00
НВ 5793	МН	9,57	1,24
	ПН	5,16	1,85
СН-14НР	МН	11,95	1,44
	ПН	5,50	2,80

Удлинение бумаги до разрыва (растяжимость) характеризует способность бумаги растягиваться под нагрузкой без разрыва. При практическом применении бумага обычно подвергается меньшей нагрузке, чем величина ее разрывного груза. Поэтому дать характеристику бумаги до разрыва более важно, чем просто регламентировать ее сопротивление разрыву. К тому же в ряде случаев практического применения бумаги показатель относительного ее удлинения до разрыва, выраженный в процентах, лучше характеризует прочностные свойства бумаги, чем численные значения ее сопротивления разрыву, выраженные в единицах разрывного груза или разрывной длины. Иногда бумага, слабая по сопротивлению на разрыв, но обладающая высокой степенью удлинения, в практических условиях оказывается лучшей (например, крепированная бумага для бинтов), чем более прочная на разрыв, но менее растягивающаяся [Фляте, 1988].

Показатели, рассчитанные по результатам испытания образцов на растяжение, представлены в табл. 5.

Прочность при растяжении – максимальная сила, выдерживаемая образцом до разрушения в условиях, установленных стандартом, разделенная на ширину испытываемого образца (ГОСТ ИСО 1924-1–96).

Предел прочности при растяжении – отношение силы, вызывающей разрыв испытываемого образца в условиях, установленных стандартом, к площади поперечного сечения этого образца (ГОСТ ИСО 1924-1–96).

Относительное удлинение – отношение удлинения в момент разрушения к первоначальной длине образца между кромками зажимов (ГОСТ ИСО 1924-1–96).

На показатель относительного удлинения бумаги оказывают значительное влияние длина волокон, из которых изготовлена бумага, их гибкость, а также силы связи между волокнами.

В международной практике согласно ГОСТ ИСО 1924-1–96 оценки прочности при растяжении большинства видов бумаги и картона используют показатели: прочность при растяжении (кН/м) и относительное удлинение (%), расчет которых нивелирует влияние размеров испытуемых образцов на результат измерения. Это наглядно продемонстрировано в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные показатели прочности, по результатам испытания на растяжение

Estimated tensile strength values from tensile tests

Показатель	НЕРН 1401			НВ 5593			НВ 5793			СН-14НР		
	МН	ПН	МН/ПН	МН	ПН	МН/ПН	МН	ПН	МН/ПН	МН	ПН	МН/ПН
Прочность при растяжении, кН/м	0,92	0,41	2,25	0,87	0,57	1,53	0,64	0,34	1,85	0,80	0,37	2,17
Относительное удлинение, %	0,71	0,83	–	0,82	1,11	–	0,69	1,03	–	0,80	1,56	–
Предел прочности при растяжении, МПа (при 2 кПа)	1,58	0,70	2,26	1,79	1,17	1,53	1,33	0,72	1,85	1,48	0,68	2,18
Предел прочности при растяжении, МПа (при 100 кПа)	2,95	1,31	2,25	2,95	1,92	1,54	2,21	1,19	1,86	2,58	1,19	2,17

Следует отметить низкий уровень показателей прочности как в машинном, так и в поперечном направлении приложения нагрузки.

Более высокая анизотропия прочности образцов НЕРН 1401, СН-14НР, оцениваемой как отношение прочности при растяжении в машинном направлении к поперечному (МН/МП), определяется высокой ориентацией волокон в структуре и, как следствие, более высоким относительным удлинением в поперечном направлении приложения нагрузки, что видно

из табл. 5. Так, для образца СН-14НР относительное удлинение в поперечном направлении приложения нагрузки в большинстве случаев выше или близко к 1,5%, в то время как для образцов НЕРН 1401, НВ 5593, НВ 5793 находится в диапазоне от 0,8 до 1,1%.

Обращает внимание невысокий уровень относительного удлинения в машинном направлении. Для всех исследуемых образцов уровень значений ниже 1,0%.

Также рассчитан предел прочности при растяжении.

В соответствии с методикой расчета, указанной в ГОСТ ИСО 1924-1-96, предел прочности зависит от толщины образцов, поэтому данный показатель отдельно рассчитывали для толщины, измеренной при давлениях 2 и 100 кПа. У образца СН-14НР предел прочности при растяжении находится на уровне 2,17, в то время как у образцов НВ 5593, НВ 5793 лежит в диапазоне 1,54÷1,86. У образца НЕРН 1401 предел прочности на растяжение составляет около 2,26.

Стоит отметить закономерность расчета по значениям толщины, измеренной при давлении 2 и 100 кПа. Значения расчета предела прочности при растяжении при толщине 2 кПа в отношении МН/ПН совпадают со значениями, полученным при расчете предела прочности при растяжении при толщине 100 кПа в отношении МН/ПН для всех исследуемых образцов.

Оценка механической прочности позволяет говорить о целесообразном практическом применении исследованных материалов в комбинированных и противоаэрозольных фильтрах. На наш взгляд, можно выделить ФМ марки СН-14НР как обладающий приемлемыми для использования в СИЗОД показателями сопротивления воздушному потоку (5,2÷5,5 мм вод. ст.) и коэффициентом проницаемости (0,00020÷0,00022%), а также немаловажными показателями механической прочности. ФМ марки НВ 5793, широко распространенный в СИЗОД, имеет показатели сопротивления воздушному потоку (4,2÷4,7 мм вод. ст.), что лучше, чем у материала СН-14НР. Однако принимая во внимания класс материала НВ 5793 (см. табл. 1), коэффициент проницаемости (0,00120÷0,00160%) закономерно хуже, что отрицательно влияет на эффективность фильтрации аэрозолей с разными размерами частиц.

С целью подтверждения результатов испытаний образцов ФМ, определения поведения исследуемых образцов при гофрировании и при вырезке заготовки нами были снаряжены противоаэрозольные фильтры.

У фильтров были определены:

1. Сопротивление фильтра воздушному потоку при 30 дм³/мин (ГОСТ 12.4.246-2016).

2. Коэффициент проницаемости фильтра при объемном расходе стандартного масляного тумана $0,05 \text{ дм}^3/\text{мин}\cdot\text{см}^2$ (скорость потока воздуха $0,83 \text{ см/с}$) – (ГОСТ 12.4.156–75).

Гофрирование ФМ и вырезка заготовок фильтров производились на машине гофрирования стекловолокна и на резательном станке. Высота складок заготовок фильтров составила 15 мм, диаметр 105 мм, количество складок от 44 до 48 шт.

Затруднений при проведении данных операций у испытываемых материалов не выявлено. Однако наиболее качественное гофрирование отмечено при использовании образца НВ 5593, отличающегося большим удлинением и небольшой толщиной. Более качественные срезы имеют образцы СН-14НР.

Определение сопротивления и коэффициента проницаемости по масляному туману противоаэрозольных фильтров проводилось после герметизации их в металлических корпусах. Герметизация (заливка) фильтра выполнялась клеем-расплавом.

Результаты испытаний фильтров приведены в табл. 6. Для удобства фильтры были промаркированы по названию используемого ФМ.

Таблица 6

**Результаты испытаний противоаэрозольных фильтров,
снаряженных образцами ФМ**

Test results for anti-aerosol filters with paper samples

Обозначение фильтра	Сопротивление фильтра, мм вод. ст.	Коэффициент проницаемости по масляному туману, %
НЕРН 1401	5,5÷6,0	0,00002÷0,00008
НВ 5593	5,3÷5,8	0,00002÷0,00008
НВ 5793	3,0÷3,5	0,00020÷0,00060
СН-14НР	5,4÷6,0	0,00006÷0,00010

Из табл. 6 видно, что сопротивление фильтров из образцов материалов марок НЕРН 1401, НВ 5593, СН-14НР находится на одном уровне и находится в диапазоне от 5,3 до 6,0 мм вод. ст.

Наименьшее сопротивление имеет фильтр, изготовленный из образца НВ 5793 (3,0÷3,5 мм вод. ст.). Норма для класса Р3 по ГОСТ 12.4.246–2016 – не более 12 мм вод. ст. Таким образом, все исследо-

ванные материалы в изделии будут соответствовать классу защиты РЗ по сопротивлению воздушному потоку.

Коэффициент проницаемости на одном уровне отмечен у фильтров, снаряженных из образцов НЕРН 1401, НВ 5593, СН-14НР и составляет $0,00002 \pm 0,00010\%$. Наиболее высоким значением коэффициента проницаемости отличается материал НВ 5793 ($0,00020 \pm 0,00060\%$), при этом коэффициент проницаемости по масляному туману значительно лучше требований технических условий для промышленных СИЗОД (норма – не более $0,01\%$).

Сопоставив табл. 2 и 6, можно наблюдать зависимость коэффициента проницаемости от сопротивления воздушному потоку. Если снижать в материалах сопротивление воздушному потоку, одновременно будет повышаться коэффициент проницаемости по масляному туману.

Также можно наблюдать схожесть результатов по сопротивлению воздушному потоку при различных расходах воздуха у исследованных образцов материалов НЕРН 1401, НВ 5593, СН-14НР и фильтров, изготовленных из этих образцов ($5,2 \pm 6,0$ и $5,3 \pm 6,0$ мм вод. ст.).

Образец НВ 5793 и изготовленный из него фильтр относится к классу очистки Н12 и закономерно уступает другим исследуемым образцам по показателю коэффициента проницаемости при минимальном сопротивлении потоку воздуха среди исследуемых образцов.

Выводы

1. Проведены исследования стекловолокнистых ФМ трех ведущих мировых производителей, представленных на рынке РФ: НЕРН 1401, НВ 5593, НВ 5793, СН-14НР. Все исследованные образцы соответствуют классу эффективности, заявленному производителем.

2. Все исследованные материалы могут быть использованы в качестве фильтрующего элемента в противоаэрозольных фильтрах, обладают способностью к гофрированию и защитными противоаэрозольными свойствами.

3. Способность к удлинению при растяжении и прочность предположительно влияют на процессы гофрирования и герметизации противоаэрозольной заготовки клеем-расплавом, а также обеспечивают качество изделия при широком температурном диапазоне эксплуатации. Наиболее лучшими прочностными характеристиками обладает ФМ СН-14НР.

По результатам испытаний рекомендован уровень значений качества ФМ, наиболее пригодного для использования в СИЗОД:

– сопротивление постоянному потоку воздуха при линейной скорости потока воздуха $0,83$ см/с должно находиться в диапазоне от $4,0$ до $5,0$ мм вод. ст.;

- коэффициент проницаемости по масляному туману должен находиться в диапазоне от 0,00004 до 0,0006%;
- прочность на растяжение в МН – не менее 0,8 кН/м;
- прочность на растяжение в ПН – не менее 0,3 кН/м;
- относительное удлинение в МН – не менее 1,0%;
- относительное удлинение в ПН – не менее 1,3%;
- толщина при давлении 2 кПа – не более 550 мкм;
- толщина при давлении 100 кПа – не более 310 мкм.

Библиографический список

- Дубовый В.К., Чижов Г.И.* Силы связи в бумаге из растительных и минеральных волокон // ИВУЗ. Лесной журнал. 2005. № 4. С. 116–124.
- Петрянов И.В.* Лепесток (Легкие респираторы). М.: Наука, 1984. 216 с.
- Фляте Д.М.* Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 562 с.

References

- Dubovyy V.K.* Sily svyazi v bumage iz rastitel'nyh i mineral'nyh volokon [Binding forces in vegetable and mineral fiber paper]. *IVUZ. Lesnoi zhurnal*, 2005, no. 4, pp. 116–124. (In Russ.)
- Flyate D.M.* Tekhnologiya bumagi [Paper technology]. М.: Lesn. prom-st', 1988. 562 p. (In Russ.)
- Petryanov I.V.* Lepestok (Legkie respiratory) [Petal, lightweight respirator]. М.: Nauka, 1984. 216 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 25.03.2022

Талипова М.В., Лянг А.В., Щербак Н.В. Сравнительный анализ фильтровальных бумаг высокой эффективности очистки воздуха для средств индивидуальной защиты органов дыхания // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 248–263. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.248-263

Статья посвящена теме определения показателей качества стекловолоконных фильтровальных материалов групп HEPA и ULPA с целью применения в средствах индивидуальной защиты органов дыхания. В работе поднята проблема отсутствия производства отечественных стекловолоконных материалов. Также затронуты такие вопросы, как разработка стекловолоконных отечественных материалов классов HEPA, ULPA и необходимость разработки методик проверки качества стекловолоконного материала, коррелирующих с европейскими, подготовке кадров и в оснащении лабораторий технического

контроля производства. Противоаэрозольные фильтрующие свойства стекловолоконных материалов вызывают интерес на международном рынке и определяют широкую область применения фильтрующих материалов. Целью представленной работы является изучение заграничного рынка фильтровальных материалов на основе стекловолокна, анализ образцов заграничных фильтровальных материалов как предпосылка к созданию отечественных стекловолоконных материалов и определение оптимальных параметров показателей качества стекловолоконных материалов при применении в СИЗОД. Как разработчикам СИЗОД нам было интересно подобрать оптимальный вариант фильтровального материала с определенными механическими показателями, наименьшим сопротивлением потоку воздуха и допустимыми значениями коэффициента проницаемости, ориентируясь на нормы, регламентированные в технических условиях для промышленных СИЗОД и ГОСТ 12.4.246-2016 по классу противоаэрозольной защиты РЗ. В рамках настоящей работы были проведены исследования четырех образцов импортного производства. Образец марки НЕРН 1401 с классом очистки Н14 и эффективностью фильтрации $\geq 99,995\%$ выпускается в Италии на производстве Ahlstrom S.p.A. Образцы марок НВ 5593, НВ 5793 с классом очистки Н13 и эффективностью фильтрации $\geq 99,95\%$ и с классом очистки Н12 и эффективностью фильтрации $\geq 99,5\%$ соответственно выпускаются в Германии на производстве Hollingsworth&Vose. У образца марки С-Н14НР с классом очистки Н14 и эффективностью фильтрации $\geq 99,995\%$ страной-изготовителем является Китай, материал выпускается на производстве ZISUN. Испытуемые образцы являются серийно выпускаемыми фильтровальными материалами у производителей. Исследуемые фильтровальные материалы находят широкое применение в областях использования стекловолоконных материалов. По результатам испытаний определено, что все исследованные образцы соответствуют классу эффективности, заявленному производителем. Все исследованные материалы могут быть использованы в качестве основы для изготовления фильтрующего элемента в противоаэрозольных фильтрах, обладают способностью к гофрированию и защитными аэрозольными свойствами. По результатам испытаний определен уровень значений качества фильтровального материала, пригодного для использования в СИЗОД. Способность к удлинению при растяжении, прочность влияют на процессы гофрирования и герметизации противоаэрозольной заготовки клеем-расплавом, а также обеспечивают качество изделия при широком температурном диапазоне эксплуатации. Наименьшая величина толщины материала позволит получить изделие с большей площадью фильтрации.

Ключевые слова: стекловолоконный фильтровальный материал, средства индивидуальной защиты органов дыхания, противоаэрозольные фильтры, прочность при растяжении фильтровальных материалов.

Talipova M.V., Liang A.V., Shcherbak N.V. Comparative analysis of high efficiency filter papers for personal respiratory protection. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2022, iss. 239, pp. 248–263 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.248-263

The article is devoted to the topic of determining the quality indicators of fiberglass filter materials of the HEPA and ULPA groups for use in personal respiratory protective equipment (PRPE). The paper raises the problem of the lack of manufacture of domestic fiberglass materials. Issues such as the development of domestic fiberglass materials of HEPA, ULPA classes and the need to develop methods for checking the quality of fiberglass material correlating with European ones, training and equipping laboratories for technical control of manufacture were also touched upon. The anti-aerosol filtering properties of fiberglass materials are of interest on the international market and determine a wide range of applications of filter materials. The goal of the presented work is to study the foreign market of filter materials based on fiberglass, to analyze samples of foreign filter materials as a prerequisite for the creation of domestic fiberglass materials and to determine the optimal parameters of the quality indicators of fiberglass materials when used in PRPE. As developers of PRPE, it was interesting for us to choose the optimal variant of the filter material with certain mechanical characteristics, the lowest resistance to air flow and permissible values of the penetration coefficient, focusing on the norms regulated in the technical conditions for industrial PRPE and GOST 12.4.246-2016 for the class of anti-aerosol protection P3. Within the framework of this work, four imported samples were studied. A sample of the brand NERN 1401 with a purification class H14 and filtration efficiency $\geq 99.995\%$ is manufactured in Italy at the production of AhlstromS.p.A. Samples of the brands HB 5593, HB 5793 with a purification class of H13 and a filtration efficiency of $\geq 99.95\%$ and with a purification class of H12 and a filtration efficiency of $\geq 99.5\%$, respectively, are manufactured in Germany at Hollingsworth&Vose. The sample of the brand C-14 HP with a purification class of H14 and filtration efficiency $\geq 99.995\%$ is manufactured in China, the material is manufactured at ZISUN. The tested samples are mass-produced filter materials from manufacturers. The studied filter materials are widely used in the fields of application of fiberglass materials. According to the test results, it was determined that all the samples studied correspond to the efficiency class declared by the manufacturer. All the materials studied can be used as a basis for the manufacture of a filter element in particle filters, have the ability to corrugate and anti-aerosol protective properties. According to the test results, the level of quality values of the filter material suitable for use in PRPE was determined. The ability to elongate under stretching, strength affect the processes of corrugation and sealing of the anti-aerosol work piece with melt adhesive, and also ensure the quality of the product at a wide temperature range of operation. The smallest thickness of the material allows getting a product with a larger filtration area.

Key words: fiberglass filter material, respiratory protective equipment, particle filters, tensile strength of filter materials.

ТАЛИПОВА Марина Валерьевна – инженер-технолог научно-технической службы средств индивидуальной защиты органов дыхания (НТС СИЗ) АО «Сорбент». ORCID: 0000-0003-4871-1277. SPIN-код: 6627-1302.

614042, ул. Гальперина, д. 6, г. Пермь, Россия. E-mail: talipova@sorbent.su

TALIPOVA Marina V. – engineer-technologist, JSC «Sorbent», Perm, R&D department of Personal Respiratory Protective Equipment (NTS SIZ). ORCID: 0000-0003-4871-1277. SPIN-code: 6627-1302.

614042. Galperina str. 6. Perm. Russia. E-mail: talipova@sorbent.su

ЛЯНГ Андрей Владимирович – руководитель научно-технической службы средств индивидуальной защиты (НТС СИЗ) АО «Сорбент», кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-2999-5975.

614042, ул. Гальперина, д. 6, г. Пермь, Россия. E-mail: avl@sorbent.su

LIANG Andrey V. – PhD (Technical), Head of R&D department of Personal Respiratory Protective Equipment (NTS SIZ), JCS «Sorbent». ORCID: 0000-0002-2999-5975.

614042. Galperina str. 6. Perm. Russia. E-mail: avl@sorbent.su

ЩЕРБАК Наталья Владимировна – заведующая кафедрой целлюлозно-бумажных и лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-7383-3826. SPIN-код: 7249-8934.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: n.sisoeva@narfu.ru

SHCHERBAK Natalia V. – PhD (Technical), Head of the Department of Pulp-and-paper and Wood chemical industries, NArFU named after M.V. Lomonosov. ORCID: 0000-0002-7383-3826. SPIN-code: 7249-8934.

163002. Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: n.sisoeva@narfu.ru