

ISSN 0536 - 1036

DOI:10.17238/issn0536-1036

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Основан в 1833 г.

СПбГУПТД
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР
С-Петербург, ул.Ивана Черныш, 4

6/360

2017



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА МИНЕРАЛЬНОВОЛОКНИСТЫМИ СЕПАРАТОРНЫМИ БУМАГАМИ

А.С. Смолин¹, д-р техн. наук, проф.

Н.В. Щербак², канд. техн. наук, доц.

М.А. Лоренгель¹, асп.

Е.В. Дубовой³, асп.

¹Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: smolin@gturp.spb.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.sioeva@narfu.ru

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com

Изучено влияние композиции по волокну на эффективность очистки воздуха сепараторными бумагами, используемыми в испарительных элементах охладителей испарительного типа. Образцы сепараторных бумаг моделировали в лабораторных условиях из стекловолокна четырех марок, отличающихся номинальным диаметром (0,1; 0,25; 0,4; 0,6 мкм). Получены одно-, двух-, трех- и четырехкомпонентные образцы. Волокна в композиции варьировали в диапазоне от 0 до 100 % с шагом 25 %. Эффективность очистки воздуха оценивали по методу, основанному на определении размера наиболее проникающих частиц масляного аэрозоля (Most Penetration Particle Size). В ходе исследований установлено, что с помощью всех изученных композиций достигались классы очистки воздуха ЕРА (эффективный материал) и НЕРА (высокоэффективный). Исключение составлял образец, изготовленный из 100 %-го ультратонкого стекловолокна номинальным диаметром 0,6 мкм. Дополнительно оценивали эффективность очистки воздуха для частиц размером 0,3 мкм. Размер наиболее проникающих частиц для большинства композиций составлял 0,1...0,15 мкм. Наименьшая эффективность отмечена для двухкомпонентных образцов, изготовленных из волокон номинальным диаметром 0,4 и 0,6 мкм соответственно. Это отвечает теоретическим представлениям

Для цитирования: Смолин А.С., Щербак Н.В., Лоренгель М.А., Дубовой Е.В. Оценка эффективности очистки воздуха минеральноволокнистыми сепараторными бумагами // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 126–134. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

и ранее полученным результатам: отсутствие в композиции более тонких волокон приводит к получению более грубых крупнопористых структур с меньшей эффективностью очистки воздуха. Эффективность очистки воздуха для частиц размером 0,3 мкм выше по сравнению с размером наиболее проникающих частиц, что соответствует положениям механики аэрозолей Фукса. Двухкомпонентные образцы, изготовленные из волокон номинального диаметра 0,4 и 0,6 мкм, имеют наименьшую эффективность очистки воздуха, так как отсутствие в их композиции более тонких волокон приводит к получению более грубых крупнопористых структур. Максимальная эффективность была достигнута для двух- и трехкомпонентных образцов, в которых суммарное содержание волокон номинальным диаметром 0,4 и 0,6 мкм не превышало 50 %. Эти образцы соответствовали классам очистки воздуха H13, H14.

Ключевые слова: сепараторная бумага, испарительный элемент, класс очистки воздуха, стеклянное волокно, эффективность очистки.

Введение

В последнее десятилетие повышение энергоэффективности и экологического уровня техники и технологии спровоцировало разработку различных видов охладителей испарительного типа, предназначенных для вентиляции как больших (промышленных), так и небольших (бытовых) помещений, а также передвижных мест пребывания человека. Основным рабочим элементом в кондиционерах испарительного типа является испарительный, представляющий собой в большинстве случаев кассеты или картриджи из объемного целлюлозного материала [6, 12, 16, 18]. Разработчики испарительных кондиционеров, независимо от конструкции и компании производителя, гарантируют дополнительную очистку охлаждаемого воздуха от крупных включений и пыли. Однако данных по эффективности его очистки, как правило, не приводится, так как данная функция испарительных элементов относится к вспомогательным.

Разработчики первого персонального кондиционера Evapolar [18] в качестве испарительного элемента используют листовой материал из стеклянных или базальтовых волокон, отличающийся не только улучшенными капиллярными, но и высокими фильтрующими свойствами [1, 7, 10, 11, 15, 17]. Авторы и разработчики Evapolar совместно с сотрудниками инновационно-технологического центра (ИТЦ) «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета (САФУ) им. М.В. Ломоносова изучали эффективность очистки воздуха минераловолокнистой сепараторной бумагой, используемой в испарительных элементах.

Цель работы – исследование влияния композиционного состава по волокну минераловолокнистой сепараторной бумаги на эффективность очистки воздуха.

Объекты и методы исследования

Все работы проводились на базе ИТЦ САФУ. На основе анализа ранее полученных данных о влиянии диаметра стеклянных волокон на свойства бумагоподобных композиционных материалов [4, 8, 9] была составлена схема изменения композиционного состава с использованием стекловолокон четырех марок: НТВ-0,1 – нанотонкие номинальным диаметром 0,1 мкм; МТВ-0,25 и МТВ-0,4 – микротонкие диаметром соответственно 0,25 и 0,4 мкм; УТВ-0,6 – ультратонкие диаметром 0,6 мкм. Варьирование в композиции волокна одной марки принято в диапазоне от 0 до 100 % с шагом 25 %. Образцы сепараторной бумаги массой 100 г/м² изготавливали в лабораторных условиях на динамическом листоотливном аппарате, позволяющем получать анизотропную структуру, аналогичную структуре бумаг промышленного изготовления.

Для изучения эффективности фильтрации при помощи образцов применяли метод, основанный на определении размера наиболее проникающих частиц масляного аэрозоля (Most Penetration Particle Size – MPPS) [5, 13, 14]. Измеряли интегральные значения эффективности по методу, регламентированному ГОСТ Р ЕН 1822-3-2012 [3]. Категорирование образцов по классу очистки осуществляли в соответствии с ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010 [2].

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с таблицей были изготовлены двух-, трех- и четырехкомпонентные образцы материала из стекловолокна разных марок. Оценка эффективности очистки позволила определить размер наиболее проникаемых частиц и класс очистки для всех исследуемых композиций. Дополнительно в ней представлены данные по эффективности очистки для размера частиц 0,3 мкм, как общепринятого при оценке пылеудержания.

Анализ данных, приведенных в таблице, показал высокую эффективность очистки у всех образцов. По показателю эффективности образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к эффективным (классы ЕРА – Е10, Е11, Е12) и высокоэффективным (классы НЕРА – Н13, Н14) материалам. Исключение составляет только образец из 100 %-го ультратонкого волокна. Это закономерно объясняется получением крупнопористых структур из волокон со средним номинальным диаметром 0,6 мкм. Необходимо отметить, что ни одна из композиций не позволила получить образец, имеющий сверхвысокую эффективность очистки (классы ULPA – U15 и выше).

Отмечена более высокая эффективность очистки воздуха для частиц размером 0,3 мкм у всех исследуемых образцов независимо от композиции. Установлена тесная взаимосвязь эффективности, оцениваемой для частиц MPPS и частиц размером 0,3 мкм. Зависимость, приведенная на рис. 1, соответствует положениям механики аэрозолей Фукса.

**Влияние композиции по волокну на эффективность очистки воздуха
лабораторными образцами сепараторных бумаг**

Доля стекловолокна, %				MPPS, мкм	Эффективность, % (для MPPS)	Класс очистки	Эффективность, % (для частиц 0,3 мкм)
НТВ-0,1	МТВ-0,25	МТВ-0,4	УТВ-0,6				
100	0	0	0	0,10	99,99779	H14	99,99950
0	100	0	0	0,10	99,99933	H14	99,99979
0	0	100	0	0,15	98,18935	E11	99,07064
0	0	0	100	0,17	78,74419	*	84,45299
75	25	0	0	0,05	99,99823	H14	99,99975
75	0	25	0	0,10	99,99773	H14	99,99938
75	0	0	25	0,10	99,99500	H14	99,99911
25	75	0	0	0,05	99,99914	H14	99,99987
0	75	25	0	0,10	99,99145	H13	99,99712
0	75	0	25	0,10	99,99610	H14	99,99922
25	0	75	0	0,10	99,81665	E12	99,93882
0	25	75	0	0,10	99,91447	E12	99,98889
0	0	75	25	0,15	94,93125	E10	97,41413
25	0	0	75	0,15	97,69201	E11	98,99620
0	25	0	75	0,10	98,59663	E11	99,50869
0	0	25	75	0,15	86,77262	E10	91,21995
50	50	0	0	0,05	99,99898	H14	99,99984
50	0	50	0	0,10	99,94825	E12	99,99284
50	0	0	50	0,10	99,95689	H13	99,98987
0	50	50	0	0,10	99,95873	H13	99,98786
0	50	0	50	0,05	99,98043	H13	99,99575
0	0	50	50	0,15	93,59564	E10	96,34886
50	25	25	0	0,15	99,99912	H14	99,99972
50	25	0	25	0,15	99,99768	H14	99,99941
50	0	25	25	0,10	99,98777	H13	99,99691
25	50	25	0	0,10	99,99942	H14	99,99980
25	50	0	25	0,10	99,99900	H14	99,99979
0	50	25	25	0,15	99,96692	H13	99,98476
25	25	50	0	0,10	99,98948	H13	99,99658
25	0	50	25	0,10	99,46211	E11	99,77573
0	25	50	25	0,15	99,87023	E11	99,96587
0	25	25	50	0,15	99,09676	E11	99,62672
25	25	0	50	0,10	99,89321	E12	99,95472
25	0	25	50	0,15	99,29533	E11	99,69126
25	25	25	25	0,10	99,97195	H13	99,99625

* Не категоризуется как эффективный фильтр по ГОСТ Р ЕН 1822-1–2010 [2].

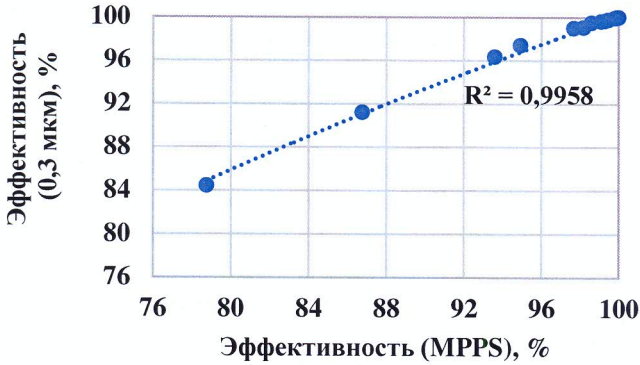


Рис. 1. Взаимосвязь эффективности, оцениваемой для частиц размером 0,3 мкм, и эффективности по наиболее проникающим частицам (MPPS)

Наименьшая эффективность отмечена для двухкомпонентных образцов, изготовленных из волокон марок МТВ-0,4 и УТВ-0,6 с номинальным диаметром волокна 0,4 и 0,6 мкм соответственно. Это отвечает теоретическим представлениям и ранее полученным результатам, т. е. отсутствие в композиции более тонких волокон марок НТВ-0,1 и МТВ-0,25 приводит к получению более грубых крупнопористых структур с меньшей эффективностью очистки воздуха (рис. 2).

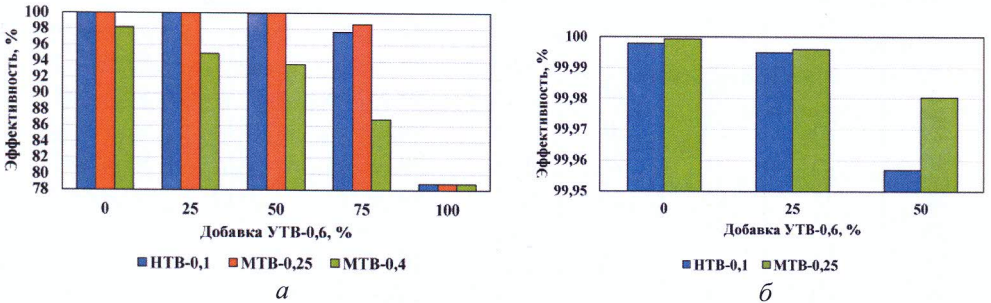


Рис. 2. Влияние добавки волокон марки УТВ-0,6 на эффективность двухкомпонентных образцов классов HEPA, EPA (а) и классов HEPA (б)

Максимальная эффективность очистки воздуха была достигнута для двух- и трехкомпонентных образцов, в которых суммарное содержание волокон марок МТВ-0,4 и(или) УТВ-0,6 не превышает 50 %. В этом случае образцы соответствуют классам H13, H14. В противном случае класс очистки не превышает E12. Полученные результаты объясняются особенностями образующихся структур при использовании тонких (НТВ-0,1; МТВ-0,25) или более грубых (МТВ-0,4; УТВ-0,6) волокон.

Эффективность очистки от частиц размером 0,3 мкм для образцов, в композиции которых суммарное содержание волокон марок МТВ-0,4 и УТВ-0,6 не превышает 25 %, соответствует классу U15.

Заключение

Сепараторные бумаги из стекловолокна с номинальным диаметром не более 0,6 мкм могут быть использованы в качестве материалов для эффективной и высокоэффективной очистки воздуха. Для достижения высокоэффективного класса очистки воздуха HEPA суммарное содержание в композиции стекловолокон марок МТВ-0,4 и УТВ-0,6 не должно превышать 50 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГК «Воздушные фильтры». Российское представительство компании «Libeltex», Бельгия. Режим доступа: www.filters.ru (дата обращения: 12.04.2017).
2. ГОСТ Р ЕН 1822-1-2010. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха HEPA, HEPA и ULPA. Ч. 1. Классификация, методы испытаний, маркировка. Введ. 2013-12-01. М.: Стандартинформ, 2011. 19 с.
3. ГОСТ Р ЕН 1822-3-2012. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха HEPA, HEPA и ULPA. Ч. 3. Испытания плоского фильтрующего материала. Введ. 2013-12-01. М.: Стандартинформ, 2013. 33 с.
4. Дубовый В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2006. 370 с.
5. Дю А.В., Сысоева Н.В., Дубовый В.К. Новый метод оценки эффективности фильтровальных материалов // Изв. СПбЛТА. 2014. № 209. С. 221–229.
6. Кондиционирование. Современные решения. Бытовой испарительный кондиционер CD-ZYEV-06-13B. Режим доступа: <http://www.comfort-de-luxe.ru/index-evacooling1006.html> (дата обращения: 12.04.2017).
7. Марийский ЦБК: офиц. сайт компании. Продукция. Режим доступа: <http://marbum.ru/produkcija> (дата обращения: 29.03.2017).
8. Мишненкова М.А., Дубовый В.К., Безлаковский А.И. Влияние диаметра стеклянных волокон на свойства фильтровальных материалов на основе минеральных волокон // Материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти проф. В.И. Комарова. Архангельск: САФУ, 2013. С. 128–132.
9. Мишненкова М.А., Красиков В.Д., Дубовый В.К. Влияние структурных наноразмерных характеристик минерального волокна на проницаемость композитных фильтрационных материалов // Материалы 15-й междунар. науч.-практ. конф. «Высокие технологии, фундаментальные исследования, финансы». СПб., 2013. С. 186–189.
10. ООО «НПП «ФОЛТЕР». Фолтер – воздушные фильтры и пылеуловители. Режим доступа: <http://www.folter.ru/> (дата обращения: 12.04.2017).
11. ООО «Фильтрующие материалы». Производство воздушных фильтров. Режим доступа: <http://filtrmat.ru> (дата обращения: 13.04.2017).
12. Проектирование летнего охлаждения производственных помещений. Gold Air. Адиабатические испарительные охладители. Режим доступа: [http://new.losevon-line.ru/files/18/cold-air-calculating-manual\(1\).pdf](http://new.losevon-line.ru/files/18/cold-air-calculating-manual(1).pdf) (дата обращения: 20.04.2017).

13. Сысоева Н.В. Современные методы оценки качества воздушных фильтров // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы 2-й междунар. конф., посвященной памяти В.И. Комарова, 10–12 сент. 2013 г., Архангельск. Режим доступа: <http://paper2011.narfu.ru/upload/iblock/f6a/Sysoeva.pdf> (дата обращения: 13.04.2017).

14. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: АН СССР, 1955. 353 с.

15. Andrew Industries Limited. Режим доступа: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm>. (дата обращения: 25.04.2017).

16. Eberspacher. Air Conditioning. Режим доступа: <https://www.eberspaecher.com/en/products/air-conditioning.html>. (дата обращения: 25.04.2017).

17. Hollingsworth and Vose. Режим доступа: <http://www.hollingsworth-vose.com/en>. (дата обращения: 25.04.2017).

18. World's First Personal Air Cooler. Режим доступа: <https://evapolar.com>. (дата обращения: 25.04.2017).

Поступила 25.05.17

UDC 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

Estimating Efficiency of Air Cleaning by Mineral Fiber Separator Papers

A.S. Smolin¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

N.V. Shcherbak², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

M.A. Lorengel¹, Postgraduate Student

E.V. Dybovoy³, Postgraduate Student

¹Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: smolin@gturp.spb.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

³Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, ul. Politekhnicheskaya, 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com

The paper presents the study results of the fiber furnish effect on the efficiency of air purification by separator papers used in evaporating elements of evaporative coolers. Samples of separator papers were modeled in laboratory conditions from glass fibers of four grades, differing in nominal diameter (0.1; 0.25; 0.4; 0.6 microns). We obtained one-, two-, three- and four-component samples. The fibers in the composition varied between 0 and 100 % in 25 % increments. The efficiency of air purification was evaluated by the method based on sizing of the most penetrating particles of oil aerosol (Most Penetration Particle Size). We achieved the EPA (effective material) and HEPA (highly effective) air purity classes by all studied compositions. The exception was a sample made of 100 % superfine glass fiber with a nominal diameter of 0.6 micron. Additionally, we evaluated the efficiency of air purification for particles of 0.3 micron in size. The size of the most penetrating particles for most

For citation: Smolin A.S., Shcherbak N.V., Lorengel' M.A., Dybovoy E.V. Estimating Efficiency of Air Cleaning by Mineral Fiber Separator Papers. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 126–134. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

compositions was 0.1...0.15 micron. The lowest efficiency was noted for two-component samples made of fibers with a nominal diameter of 0.4 and 0.6 micron, respectively. This corresponded to theoretical concepts and previously obtained results: the absence of finer fibers in the composition led to the production of coarsely structures with less efficient air purification. The efficiency of air purification for particles with a size of 0.3 micron was higher in comparison with the size of the most penetrating particles. This corresponded to the provisions of the Mechanics of Aerosols by Fuchs. Two-component samples made of fibers with a nominal diameter of 0.4 and 0.6 micron had the lowest efficiency of air purification, since the absence of thinner fibers in their composition resulted in coarsely structures. Maximum efficiency was achieved for two- and three-component samples in which the total content of fibers with a nominal diameter of 0.4 and 0.6 micron did not exceed 50 %. These samples corresponded to the H13, H14 air purity classes.

Keywords: separator paper, evaporating element, air purity class, glass fiber, purification efficiency.

REFERENCES

1. GK «Vozdushnye fil'try». Rossiyskoe predstavitel'stvo kompanii «Libeltex», Bel'giya [Group of Companies Vozdushnye Fil'try. The Russian Representative Office of the Company «Libeltex», Belgium]. Available at: www.filters.ru (accessed 12.04.2017).
2. GOST R EN 1822-1-2010. Vysokoeffektivnyye fil'try ochistki vozdukha EPA, HEPA i ULPA. Ch. 1. Klassifikatsiya, metody ispytaniy, markirovka [State Standard R EN 1822-1-2010. High Efficiency Air Filters (EPA, HEPA and ULPA). Part 1. Classification, Performance Testing, Marking]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 19 p. (In Russ.)
3. GOST R EN 1822-3-2012. Vysokoeffektivnyye fil'try ochistki vozdukha EPA, HEPA i ULPA. Ch. 3. Ispytaniya ploskogo fil'truyushchego materiala [State Standard R EN 1822-3-2012. High Efficiency Air Filters (EPA, HEPA and ULPA). Part 3. Testing Flat Sheet Filter Media]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 33 p. (In Russ.)
4. Dubovyy V.K. *Bumagopodobnye kompozitsionnye materialy na osnove mineral'nykh volokon: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Paperlike Composites Based on Mineral Fibers: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2006. 370 p.
5. Dyu A.V., Sysoeva N.V., Dubovyy V.K. Novyy metod otsenki effektivnosti fil'troval'nykh materialov [New Assessment Method of Efficiency of Filter Materials]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2014, iss. 209, pp. 221–229.
6. *Konditsionirovanie. Sovremennyye resheniya. Bytovoy isparitel'nyy konditsioner CD-ZYEV-06-13B* [Conditioning. Modern Solutions. Household Evaporative Air Conditioner CD-ZYEV-06-13B]. Available at: <http://www.comfort-de-luxe.ru/index-evacooling1006.html> (accessed 12.04.2017).
7. *Mariyskiy TsBK. Ofitsial'nyy sayt kompanii* [Mari Pulp and Paper Mill. Official Website of the Company]. Available at: <http://marbum.ru/produkcija> (accessed 29.03.2017).
8. Mishnenkova M.A., Dubovyy V.K., Bezlakovskiy A.I. Vliyanie diametra steklyannykh volokon na svoystva fil'troval'nykh materialov na osnove mineral'nykh volokon [The Effect of the Glass Fibers Diameter on the Properties of Filter Materials Based on Mineral Fibers]. *Materialy 2-y mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy pamyati prof. V.I. Komarova* [Proc. 2nd Int. Sci. Techn. Conf., Dedicated to the Memory of Prof. V.I. Komarov]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2013, pp. 128–132. (In Russ.)

9. Mishnenkova M.A., Krasikov V.D., Dubovyy V.K. Vliyanie strukturnykh nanorazmernykh kharakteristik mineral'nogo volokna na pronitsaemost' kompozitnykh fil'tratsionnykh materialov [The Effect of Structural Nanosized Characteristics of Mineral Fibers on the Permeability of Composite Filtration Materials]. *Materialy 15-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Vysokie tekhnologii, fundamental'nye issledovaniya, finansy»* [Proceedings of the 15th Int. Sci. Practical Conf. "High Technologies, Basic Research, Finance"]. Saint Petersburg, 2013, pp. 186–189. (In Russ.)
10. OOO «NPP «FOLTER». *Folter – vozdushnye fil'try i pyleuloviteli* [OOO Research and Production Enterprise FOLTER. Folter – Air Filters and Dust Collectors]. Available at: <http://www.folter.ru> (accessed 12.04.2017).
11. OOO «Fil'truyushchie materialy». *Proizvodstvo vozdushnykh fil'trov* [OOO Fil'truyushchie materialy. Production of Air Filters]. Available at: <http://filtrmat.ru> (accessed 13.04.2017).
12. *Proektirovanie letnego okhlazhdeniya proizvodstvennykh pomeshcheniy. Gold Air. Adiabaticheskie isparitel'nye okhladiteli* [Designing of Summer Cooling of Industrial Premises. Gold Air. Adiabatic Evaporative Coolers]. Available at: [http://new.losevonline.ru/files/18/cold-air-calculating-manual\(1\).pdf](http://new.losevonline.ru/files/18/cold-air-calculating-manual(1).pdf) (accessed 20.04.2017).
13. Sysoeva N.V. *Sovremennye metody otsenki kachestva vozdushnykh fil'trov* [Modern Methods for Assessing the Quality of Air Filters]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy mezhdunar. konf. 10–12 sentyabrya 2013 g., Arkhangel'sk* [Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials: Proc. Inter. Conf. 10–12 September 2013, Arkhangelsk]. Available at: <http://paper2011.narfu.ru/upload/iblock/f6a/Sysoeva.pdf> (accessed 13.04.2017).
14. Fuks N.A. *Mekhanika aerezoley* [Mechanics of Aerosols]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1955. 353 p. (In Russ.)
15. *Andrew Industries Limited*. Available at: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm> (accessed 25.04.2017).
16. *Eberspacher. Air Conditioning*. Available at: <https://www.eberspaecher.com/en/products/air-conditioning.html> (accessed 25.04.2017).
17. *Hollingsworth and Vose*. Available at: <http://www.hollingsworth-vose.com/en> (accessed 25.04.2017).
18. *World's First Personal Air Cooler*. Available at: <https://evapolar.com> (accessed 25.04.2017).

Received on May 25, 2017