Зависимость свойств фильтрующих элементов из нетканого волокнистого полимерного материала от параметров технологического оборудования и режимов его работы

Стрельникова Светлана Юрьевна,
студент, кафедра "Экология и промышленная безопасность", Калужский Филиал Московского Государственного Технического Университета имени Николая Эрнестовича Баумана (национальный исследовательский университет), sweto4ka.krasnoshyokova@yandex.ru;

Кузнецова Ольга Владимировна,
студент, кафедра "Экология и промышленная безопасность", Калужский Филиал Московского Государственного Технического Университета имени Николая Эрнестовича Баумана (национальный исследовательский университет), kuznetsova.olya2018@yandex.ru;

Яковлев Александр Николаевич
студент, кафедра "Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии", Калужский Филиал Московского Государственного Технического Университета имени Николая Эрнестовича Баумана (национальный исследовательский университет), m1raz3nt@gmail.com .

Хролынцев Антон Александрович,
АО "Фильтр", ведущий инженер-конструктор, Акционерное общество «Фильтр», anton@ftov.ru;

Яковлева Ольга Владимировна.,
кандидат технических наук, доцент, кафедра "Экология и промышленная безопасность", Калужский Филиал Московского Государственного Технического Университета имени Николая Эрнестовича Баумана (национальный исследовательский университет), yakowlewaolga24@mail.ru.

Статья посвящена исследованию влияния параметров технологического оборудования и режимов его работы на свойства фильтрующих элементов из нетканого волокнистого полимерного материала при их производстве. При проведении серии экспериментов на опытных образцах фильтроэлементов показано, что возможно оптимизировать процессы контроля их характеристик.
В результате проведенных исследований получена расчетная зависимость удельного гидравлического сопротивления фильтроэлемента от его удельного сопротивления воздушному потоку, которая позволяет существенно сократить трудозатраты на определение гидравлического сопротивления фильтрующего элемента.
Произведен анализ расхода воздуха при производстве фильтрующих элементов и установлено влияние этого параметра на характеристики фильтроэлементов.
В работе приведены рекомендации по выбору оптимальных значений давления воздуха на регуляторе, позволяющие сократить расходы на производство фильтроэлементов и улучшить условия труда в производственном помещении.
Ключевые слова**:** фильтрующий элемент, гидравлическое сопротивление, номинальная тонкость фильтрации, воздушное сопротивление, характеристики фильтроэлементов.

Введение

В настоящее время существующие технологии очистки воды позволяют достигать высоких результатов. Важная роль на определенных этапах проведения данных процессов часто отводится фильтрованию.

Все фильтры, независимо от типа и конструкции, имеют единое назначение, которым является обеспечение достаточно эффективной очистки среды от загрязняющих частиц, при не допуске слишком больших сопротивлений прохождению жидкости и сохранении этого свойства возможно более длительный срок. Фильтры должны иметь высокую производительность, быть надежными в работе, безопасными и нетрудоемкими в обслуживании, обеспечивать санитарно-гигиенические требования [1].

В связи с развитием производства и использования различных полимерных материалов в области водоочистки, нашли свое применение микрофильтры, фильтрующие элементы которых выполнены из нетканого волокнистого полипропилена.

В процессе эксплуатации фильтрующие элементы из нетканого волокнистого полимерного материала могут существенно изменять свои характеристики под воздействием накапливающихся в них загрязнений, при изменении режима фильтрации и других факторов.

Технология производства фильтрующих элементов из нетканых волокнистых полимерных материалов (метод аэродинамического формования волокнистого материала из расплава полимерного материала) имеет ряд особенностей. Параметры технологического оборудования и режимов его работы оказывают существенное влияние на качество фильтрующих элементов, что свидетельствует о необходимости изучения влияния указанных параметров на качество изделия для получения фильтрующих элементов с оптимальными характеристиками.

Целью исследования являлось установление закономерности изменения эксплуатационных характеристик фильтрующих элементов из нетканых волокнистых полимерных материалов в зависимости от технологии их производства.

Для этого проведена серия экспериментов, направленная на оптимизацию процессов кон-

троля характеристик при производстве фильтрующих элементов [2].

Проведение экспериментов и результаты исследования

Для установления закономерностей изменения характеристик фильтрующих элементов от условий технологии производства проведен комплекс исследований.

Определялись гидравлические характеристики фильтроэлементов. Гидравлическое сопротивление фильтра - перепад давлений, необходимый для обеспечения требуемой производительности фильтрации.

При проведении эксперимента для определения гидравлических характеристик фильтрующих элементов использовался стенд, внешний вид которого представлен на рис. 1.

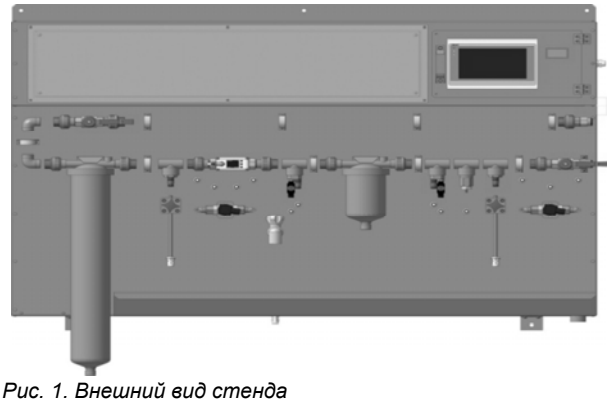
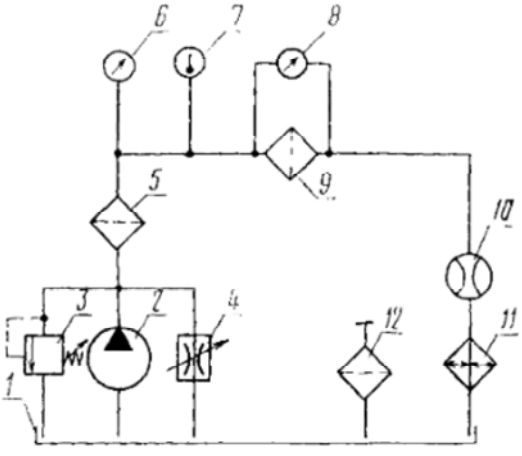


Рис. 1. Внешний вид стенда

Принципиальная гидравлическая схема стенда аналогична схеме, рекомендуемой в ГОСТ 25277-82 [3] и представлена на рис. 2.



1 – гидробак; 2 – насос; 3 – предохранительный гидроклапан;
4 – гидродросель; 5 – технологический фильтр; 6 – манометр;
7 – термометр; 8 – дифференциальный манометр; 9 – фильтр с испытуемым фильтроэлементом; 10 – расходомер; 11 – теплообменник; 12 - сапун
Рис. 2. Гидравлическая схема стенда для определения гидравлической характеристики

Стенд обеспечивает плавное изменение расхода жидкости от нулевого значения до 20 л/мин. Номинальная тонкость фильтрации технологического фильтра составляет 0,5 мкм. Погрешности измерения: давления ±2%; расхода ± 3 % [4].

В начале проведения исследования в бак заливается рабочая жидкость, удаляется из системы воздух, и прокачивается через технологический фильтр. После пятикратной очистки рабочей жидкости в системе проводится определение гидравлической характеристики фильтродержателя без испытуемого фильтроэлемента [5].

На рис. 3 приведена гидравлическая характеристика фильтродержателя и формула для расчета сопротивления фильтродержателя.

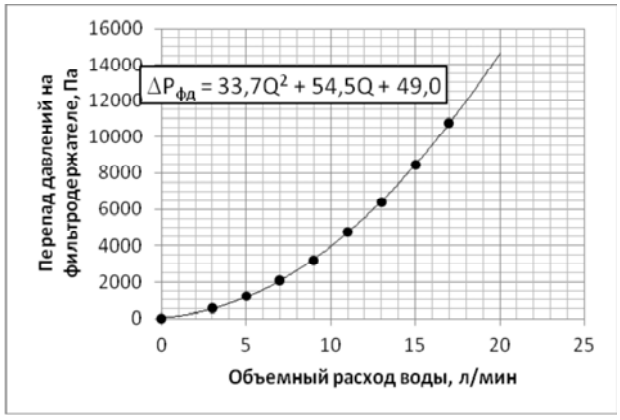


Рис. 3. Гидравлическая характеристика фильтродержателя

Перепад давлений на фильтроэлементе определяется как разность перепадов давлений на фильтродержателе с фильтроэлементом и на пустом фильтродержателе.

Условные обозначения величин:

- номинальная тонкость фильтрации (в соответствии с ГОСТ 14066-68), эффективность η>95%, $r_{норм}$, мкм [6];
- удельное сопротивление воздушному потоку $\Delta P_в$, Па/(м^3 / ч);
- удельное гидравлическое сопротивление $\Delta P_г$, Па/(л / мин).

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено 12 групп образцов фильтрующих элементов из полипропилена (по 5 образцов в группе). В качестве образцов использовались фильтрующие элементы длиной 40 мм с наружным диаметром 42 мм и внутренним диаметром 28 мм. Внешний вид образца представлен на рис. 4.



Рис. 4. Фильтрующий элемент из полипропилена

В таблице 1 приведены средние арифметические значения измеренных параметров. Параметры $r_{ном.}$, $\Delta P_в$, $\Delta P_г$ определялись непосредственно в процессе эксперимента. Давление воздуха на регуляторе $P_{рег}$ фиксировалось при изготовлении образцов фильтроэлементов.

Таблица 1
Средние арифметические значения измеренных параметров

№ группы образцов (по 5 образцов в группе)	$r_{ном}$, мкм	$\Delta P_в$, Па/(м^3/ч)	$\Delta P_г$, Па/(л/мин)	$P_{рег}$, бар
1.1	25,3	10,8	8,5	0,10
1.2	21,5	25,2	28	0,15
1.3	18,7	47,0	58	0,20
1.4	14,2	73,8	90	0,30
1.5	11,1	112	152	0,40
1.6	9,4	160	222	0,50
1.7	6,7	217	276	0,60
1.8	5,3	311	347	0,70
1.9	4,4	393	390	0,80
1.10	4,2	471	493	0,90
1.11	3,9	586	59	1,00
1.12	3,8	685	708	1,10

На рис. 5, в качестве примера, представлены гидравлические характеристики двух различных фильтроэлементов. Гидравлические характеристики являются линейными.

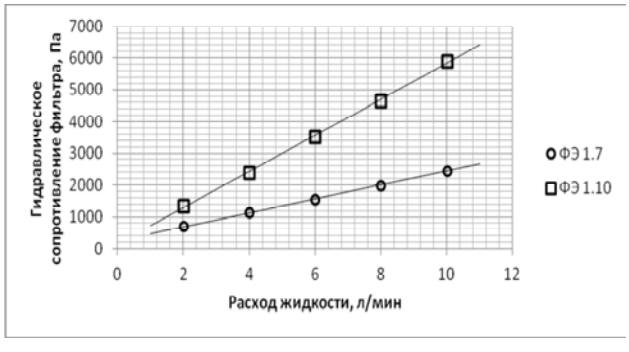


Рис. 5. Гидравлические характеристики фильтроэлементов

Проведенное исследование показало, что определение гидравлической характеристики фильтрующего элемента по описанной выше методике сопряжено со значительными трудозатратами, поскольку требуется изготовление и испытание специально подготовленного образца. В процессе проведения исследований была разработана методика, позволяющая обойти данные недостатки.

С целью упрощения методики определения гидравлического сопротивления фильтроэлемента экспериментально была определена зависимость удельного гидравлического сопротивления фильтроэлемента от его удельного сопротивления воздушному потоку (рис. 6).

Удельное гидравлическое сопротивление фильтрующего элемента определяли по формуле:

$$\Delta P_Г = 1{,}181 \Delta P_B \quad (1)$$

где $\Delta P_Г$ – удельное гидравлическое сопротивление, Па/(л/мин);

ΔP_B – удельное сопротивление воздушному потоку, Па/(м^3/ч) [7,8].

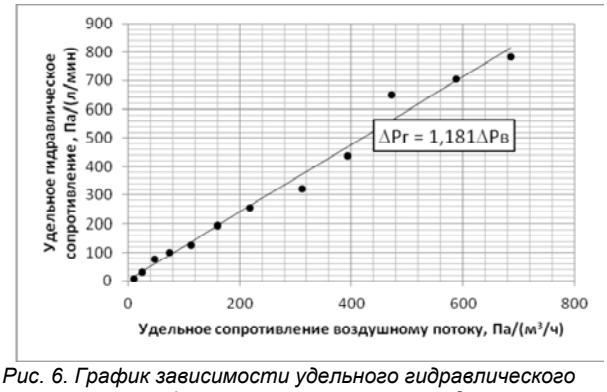


Рис. 6. График зависимости удельного гидравлического сопротивления фильтроэлемента от его удельного сопротивления воздушному потоку

Основным технологическим параметром при изготовлении фильтроэлементов является расход воздуха через экструзионную головку. При прочих равных условиях, именно расход воздуха определяет такие параметры фильтроэлемента, как гидравлическое сопротивление, тонкость фильтрации, и позволяет оперативно влиять на их значения [8].

В технологическом процессе изготовления фильтрующих элементов необходимый расход воздуха устанавливается посредством установления соответствующего значения давления воздуха на экструзионной головке с помощью регулятора давления.

В процессе исследования экспериментально определялась зависимость расхода воздуха через головку от давления воздуха на регуляторе. Для этого в линию подачи воздуха установили термо-анемометрический расходомер. Последовательно задавая значения давления воздуха, фиксировались показания расходомера. Результаты измерений представлены в таблице 2.

График зависимости расхода воздуха через головку от давления воздуха на регуляторе приведен на рис. 7.

Таблица 2
Результаты измерений расхода воздуха через головку

$P_{рег}$, бар	$Q_в$, л/мин
0,2	140
0,3	177,5
0,4	212,5
0,5	247,5
0,6	280
0,7	310
0,8	340
0,9	370
1,0	402,5
1,1	432,5
1,2	470
1,3	500
1,4	530

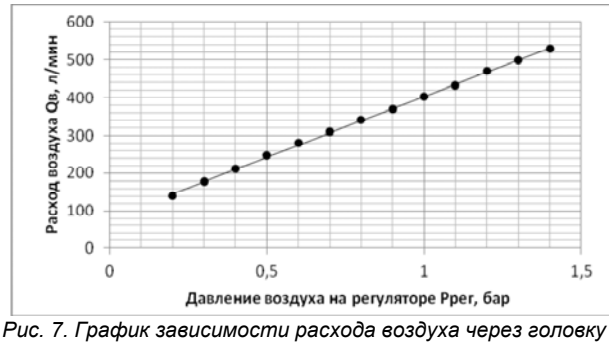


Рис. 7. График зависимости расхода воздуха через головку от давления воздуха на регуляторе

Анализ полученной зависимости показывает, что расход воздуха через головку увеличивается пропорционально увеличению давления воздуха на регуляторе.

Для оценки влияния расхода воздуха через головку на характеристики фильтрующего элемента были определены зависимости номинальной тонкости фильтрации и удельного гидравлического сопротивления от давления воздуха на регуляторе. Используя данные, приведенные в таблице 1, искомые зависимости представлены в виде графиков (рис. 8).

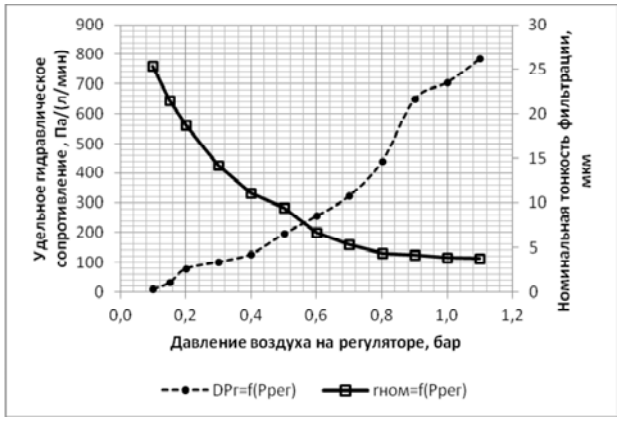


Рис. 8 – Графики зависимости номинальной тонкости фильтрации и удельного гидравлического сопротивления от давления воздуха на регуляторе

Анализ графиков показывает, что при значениях давления воздуха на регуляторе больше 0,9 бар номинальная тонкость фильтрации практически не изменяется, а также замедляется рост кривой удельного гидравлического сопротивления. В связи с этим работа при давлениях больше 0,9 бар не оказывает существенного влияния на параметры фильтрующего элемента и поэтому неэффективна в связи с большим расходом воздуха на изготовление фильтрующего элемента. Кроме того, большие значения расхода воздуха приводят к увеличению шума и тепловыделений в производственном помещении.

Проведенная серия опытов позволила установить расчетную зависимость удельного гидравлического сопротивления фильтроэлемента от его удельного сопротивления воздушному потоку. Использование полученной зависимости сокращает трудозатраты на определение гидравлического сопротивления фильтрующего элемента.

Установлено влияние расхода воздуха при производстве фильтрующих элементов на характеристики фильтроэлементов.

Результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют оптимизировать параметры оборудования и технологического процесса производства фильтрующих элементов, существенно улучшить их эксплуатационные характеристики, а также получить ряд практических рекомендаций, которые могут быть использованы для повышения стабильности параметров и качества выпускаемой продукции.

Литература

1. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. Изд-во: Санкт-Петербург ЦОП Профессия, 2014. – 592 с.

2. Кузнецова О.В., Стрельникова С.Ю., Хролынцев А.А., Яковлева О.В. Применение оптического метода контроля для оценки параметров фильтрующих элементов из нетканых волокнистых полимерных материалов // Инновации и инвестиции. 2019. №2. С. 142-146

3. ГОСТ 25277-82 Фильтроэлементы для объемных гидроприводов и смазочных систем. Правила приемки и методы испытаний. 1984. – 15 с.

4. Кузнецова О.В., Стрельникова С.Ю., Яковлева О.В., Хролынцев А.А. Технологии производства и эксплуатационные характеристики фильтрующих элементов из нетканых волокнистых полимерных материалов. Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Региональной научно-технической конференции. Т. 2. – Калуга: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – С. 55-58.

5. Михалин А.Г. Гидравлическое сопротивление фильтров: Учеб. пособие. – Вологда: 2014. – 215с.

6. Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления: учеб. пособие. – СПб: Изд-во РГГМУ, 2015 - 147 с.

7. Деменок С.Л. Теплообмен и гидравлическое сопротивление. Изд-во: Н-Пром Бюро Старта, 2015. – 112 с.

8. Керкис Е.Е. Методы изучения фильтрационных свойств: учебное пособие Нижний - Новгород, 2014. – 234с. [Электронный ресурс] // «Электронная библиотека ONLINE»: сайт. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=554231#

Dependence of properties of filtering elements of non-fabric fibrous polymeric material from parameters of technological equipment and modes of its work

Strelnikova S.Yu., Kuznetsova O.V., Yakovlev A.N.. Khrolintsev A.A., Yakovleva O.V.

Kaluga Branch of the Moscow State Technical University named after Nikolai Ernestovich Bauman (National Research University), JSC "Filter"

The article is devoted to the study of the influence of technological equipment parameters and its modes of operation on the properties of filter elements made of non-woven fibrous polymeric material during their production. When conducting a series of experiments on prototypes of filter elements, it was shown that it is possible to optimize the processes of control of their characteristics.

As a result of the conducted research, the calculated dependence of the specific hydraulic resistance of the filter element on its specific resistance to the air flow was obtained, which can significantly reduce the labor costs for determining the hydraulic resistance of the filter element.

An analysis of the air flow in the production of filter elements was carried out and the effect of this parameter on the characteristics of the filter elements was established.

The paper presents recommendations on the choice of the optimal air pressure values on the regulator, allowing to reduce the cost of production of filter elements and improve working conditions in the production room.

Keywords: filter element, hydraulic resistance, nominal filtration fineness, air resistance, characteristics of filter elements.

References

1. Kerber M. L. Polymeric composite materials: structure, properties, technology. Publishing house: St. Petersburg CSC Profession, 2014. - 592 p.
2. Kuznetsova OV, Strelnikova S.Yu., Hrolintsev AA, Yakovleva OV Application of the optical control method for the evaluation of the parameters of filter elements made of non-woven fibrous polymeric materials // Innovations and investments. 2019. №2. Pp. 142-146
3. GOST 25277-82 Filter elements for volumetric hydraulic actuators and lubrication systems. Acceptance rules and test methods. 1984. - 15 s.
4. Kuznetsova OV, Strelnikova S.Yu., Yakovleva OV, Hrolintsev A.A. Production technology and performance characteristics of filter elements made of non-woven fibrous polymeric materials. High technology in instrumentation and mechanical engineering and the development of innovation in the university: materials of the Regional Scientific and Technical Conference. T. 2. - Kaluga: Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 2017. - p. 55-58.
5. Mikhalin A.G. Hydraulic filter resistance: Textbook. allowance. - Vologda: 2014. - 215s.
6. Baryshnikov NB Hydraulic resistance: studies. allowance. - SPb: Publishing House of RSHU, 2015 - 147 p.
7. Demenok S.L. Heat transfer and hydraulic resistance. Publishing house: N-Prom Start Bureau, 2015. - 112 p.
8. Kerkis E.E. Methods for studying filtration properties: study guide Nizhny - Novgorod, 2014. - 234c. [Electronic resource] // "ONLINE Electronic Library": site. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=554231#