

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ФИЛЬТРУЮЩЕМ ПАКЕТЕ С ОБЪЕМНЫМ ПРИНЦИПОМ ФИЛЬТРАЦИИ

Тук Д. Е.<sup>1</sup>, Гарипов А. А.<sup>2</sup>, Целищев В. .<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ОАО «УАП Гидравлика», Уфа, Россия (450001, Уфа, ул. Володарского,2);

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, Россия (450000, Уфа, ул. К. Маркса 12), e-mail: [ar-matur@mail.ru](mailto:ar-matur@mail.ru).

---

Несмотря на широкое использование фильтров в авиационной технике, в настоящее время отсутствует комплексное исследование проблем проектирования, разработки и доводки фильтров в целом и перспективных фильтров объемной очистки, в частности. Это связано, прежде всего, со сложным характером физических процессов, протекающих в современных высоконапорных фильтрах тонкой очистки. Рассмотрены результаты экспериментальных исследований и моделирования течения рабочей жидкости в фильтрующем пакете с объемным принципом фильтрации номинальной тонкости фильтрации 5 мкм, который состоит из 2-х защитных, 2-х каркасных сеток и непосредственно самого фильтрующего материала.

Ключевые слова: фильтроэлемент, фильтр, очистка топлива.

---

## RESEARCH OF FLUID FLOW IN THE FILTER BAG WITH INTERIOR PRINCIPLE OF FILTRATION

Tyk D. E.<sup>1</sup>, Garipov A. A.<sup>2</sup>, Tselishev V. A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Gidravlika, Ufa, Russia, (450001, Ufa, street Volodarskogo, 2);*

<sup>2</sup> *Ufa state aviation technical university, Ufa, Russia,(450000, Ufa, street K. Marksa 12 ), e-mail: [ar-matur@mail.ru](mailto:ar-matur@mail.ru).*

---

Despite wide use of filters in aviation equipment, now there is no complex research of problems of design, development and operational development of filters as a whole and perspective filters of volume cleaning, in particular. It is connected first of all with difficult nature of the physical processes proceeding in modern high-pressure head filters of thin cleaning. Results of pilot studies and modeling of a current of working liquid in a filtering package with a volume principle of a filtration of a nominal subtlety of a filtration of 5 microns which consists of the 2nd protective, 2nd frame grids and directly most filtering material are considered.

Key words: filterelement, filter, purification of fuel.

---

Одной из важнейших систем жизнеобеспечения летательного аппарата является система фильтрации гидравлических систем самолета (топливных и масляных систем). Эксплуатация самолётов на больших высотах и с высокими скоростями полётов приводит к периодическому охлаждению и нагреву топлив, что интенсифицирует процессы загрязнения топлив. Увеличение ресурсов авиационных двигателей, использование авиационных топлив с применением различных поверхностно-активных присадок увеличивает склонность топлив к образованию загрязнений и ухудшает эффективность их очистки. Проблема очистки в топливной системе современных летательных аппаратов приобрела особую актуальность в связи с ужесточением требований безопасности. Порядка 80 % поломок в различного рода механизмах, где имеется пневмо- или гидро-оборудование, связаны с чистотой рабочего тела.

Решение вопросов улучшения качества проектных работ, сокращения сроков разработки новых типов и конструкций фильтров с характеристиками, удовлетворяющими растущие требования со стороны электрогидравлической системы управления летательного аппа-

рата, сдерживается, так как теория, методы проектирования и расчета современных гидромеханических устройств очистки и подготовки рабочей жидкости не приобрели еще законченного научного и инженерного уровня.

Известно, что обеспечение низкого перепада давлений на фильтроэлементе, особенно при засоренном фильтре, является достаточно сложной задачей. Для снижения сопротивления и поддержания работоспособности системы необходимо резко увеличивать фильтрующую поверхность при одновременном сохранении габаритов фильтра.

Для решения поставленной задачи создаются фильтрующие элементы с эффектом объемного (глубинного) фильтрования – частицы загрязнения в данном случае задерживаются в глубине фильтроэлемента. Далее они поступают в сквозные или тупиковые каналы и, в зависимости от извилистости и размеров каналов, задерживаются в толще фильтроэлемента.

Фильтроэлементы из материалов объемного фильтрования могут удерживать твердые частицы самых различных размеров от 3 мкм до 20 мкм, это объясняется тем, что фильтрующие материалы имеют множество поровых каналов, размеры и проходные сечения которых произвольны.

Гофрированная структура фильтрующих элементов позволяют получать увеличенную рабочую поверхность и усиливает эффект объемной фильтрации. Особенно заметным это становится при относительно небольшом сопротивлении фильтрующего материала – оно приводит к завихрению и рассеиванию на элементарные потоки в области соприкосновения соседних слоев материала.

Для создания фильтроэлементов объемного фильтрования ОАО «Волжским НИИ ЦБП» были разработаны фильтровальные материалы на основе стекловолокна. Технология производства фильтровальной бумаги из волокон стекла различных размеров, уложенных хаотично, позволяет получать материалы с открытыми порами, размер которых варьируется в широких пределах. Размер пор определяется как плотностью укладки волокна на приемную поверхность, так и толщиной самого волокна. Возможности технологии позволяют обеспечивать градиентное изменение размера пор по толщине слоя получаемых материалов. Фильтрующий элемент из стекловолокна устойчив к высокому перепаду давления в момент «холодного» пуска.

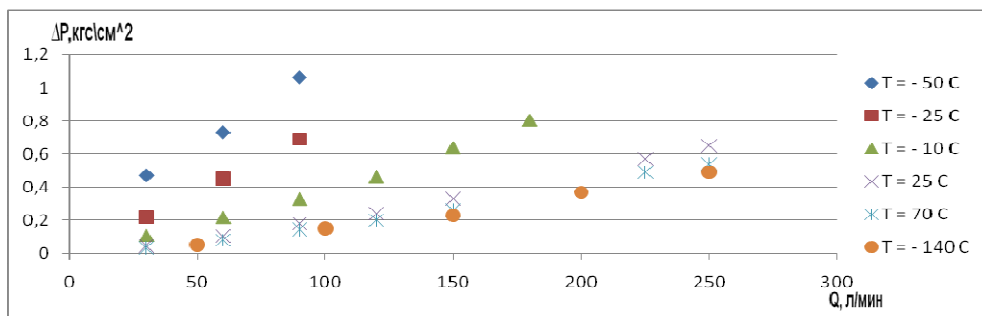
В отечественной литературе достаточно хорошо освещена аэродинамика фильтроэлемента. Из опубликованных исследований был сделан вывод о том, что для максимально эффективной работы фильтра важно обеспечить равномерное распределение поля скоростей за счет применения фильтрующих перегородок с переменным сопротивлением.

При определенном сложении фильтрующего материала получается фильтроэлемент, у которого при заданных габаритах обеспечивается максимальное заполнение всего объема

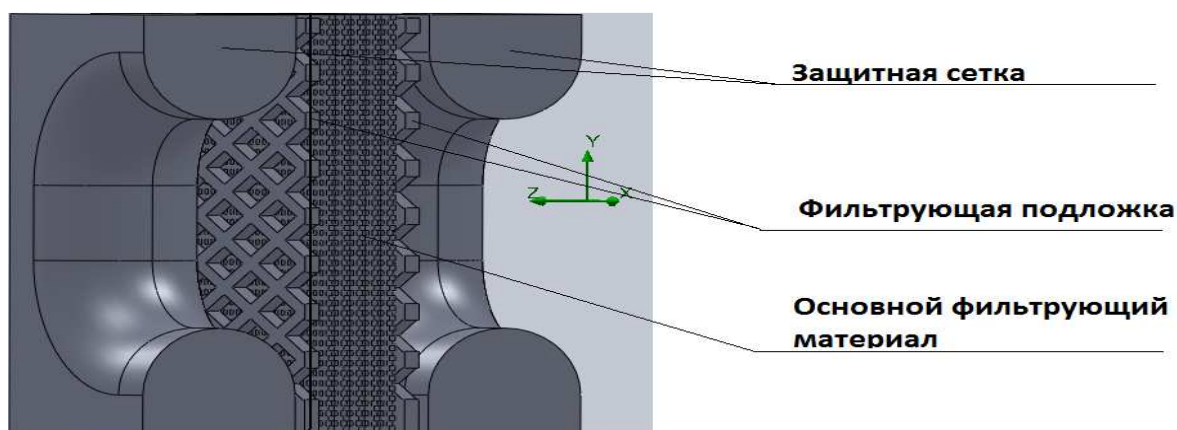
элемента сложной плотноупакованной объемной фильтрующей структурой. Предложенные фильтрующие элементы и технология их изготовления позволяют получать практически неограниченную рабочую поверхность и создавать режим объемной фильтрации. За счет этого удалось существенно повысить грязеемкость, прочностные характеристики и ресурс работы фильтроэлемента. Сложная объемная ячеистая структура предложенных элементов усиливает свойства объемной фильтрации, так как при любом направлении потока среда проходит через фильтрующий материал.

Особенно заметной эта особенность становится при относительно небольшом сопротивлении фильтрующего материала – оно приводит к завихрению и рассеиванию на элементарные потоки в области соприкосновения соседних слоев материала, их перемешиванию и эффективному выделению загрязнений за счет центробежных сил. Следует особо отметить увеличение прочности конструкции в целом по сравнению с известными фильтроэлементами, за счет пространственно неоднородной структуры. Использование же в качестве фильтрующего материала металлической сетки с ячейками различной величины позволяет производить очистку, регламентированную по размерам включений (механических примесей).

По данным испытаний лаборатории ФГУП ОАО «Гидравлика» построены гидравлические характеристики фильтрующих пакетов при температурах рабочей среды в диапазоне (-40 +140) °С, представленные на рисунке 1. Несмотря на значительное уменьшение массогабаритных характеристик и увеличение полезной площади фильтрации, гидравлическое сопротивление незначительно превышает показателей сетчатых фильтров.



**Рис. 1.** Гидравлические характеристики фильтрующего пакета с объемным принципом фильтрации при различных температурах



**Рис. 2.** Структура пакета фильтрующего материала номинальной тонкости фильтрации 5 мкм

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить концепцию численного моделирования фильтров объемной фильтрации, выбор алгоритмов расчета, начальные и граничные условия для решения математической модели фильтроэлемента. Компьютерное моделирование осуществлялось в пакете прикладных программ COSMOS Flow Works. В качестве расчетного был выбран объемный фильтрационный пакет с номинальной тонкостью фильтрации 5 мкм.

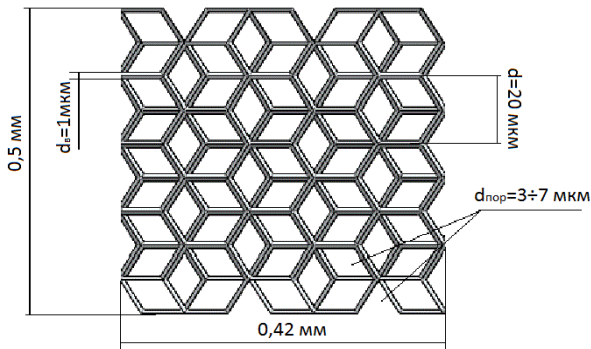
Характеристики пакета фильтрующего материала тонкости фильтрации 5 мкм. Фильтрующая жидкость гидравлическая (7-50С-3) до 135 л/мин.

Состав пакета фильтрующего материала:

- 1) Защитная сетка: Сетка № 025x0,16 ТУ 14-4-507-99, полотняного плетения. Номинальный диаметр проволоки 0,16. Размер стороны ячейки в свету 0,25 мм.
- 2) Фильтрующая подложка: Бумага длинноволокнистая хлопковая (БДХ) по ТУ 13-7308001-669-84. Ячейки ромбические, сторона ромба – 40 мкм, средний диаметр волокна 15...18 мкм.
- 3) Основной фильтрующий материал: Бумага МФТО-5 ТУ5439-059-00281097-2009. Максимальный диаметр волокна 1,5 мкм. Максимальный размер поры 8...12 мкм.
- 4) Фильтрующая подложка: Бумага длинноволокнистая хлопковая (БДХ) по ТУ 13-7308001-669-84. Ячейки ромбические, сторона ромба – 40 мкм, средний диаметр волокна 15...18 мкм.
- 5) Каркасная сетка: Сетка № 14x0,09 ТУ14-4-507-99, полотняного плетения. Номинальный диаметр проволоки 0,09 мм. Размер стороны ячейки в свету 0,14 мм.

В связи с тем, что структура фильтрующего материала сложна, при построении твердотельной модели были принято допущение, что ячейка основного фильтрующего материала

имеет форму шестиугольника. Сам фильтрующий материал представляет собой 5 слоев, каждый из которых смещен друг относительно друга.

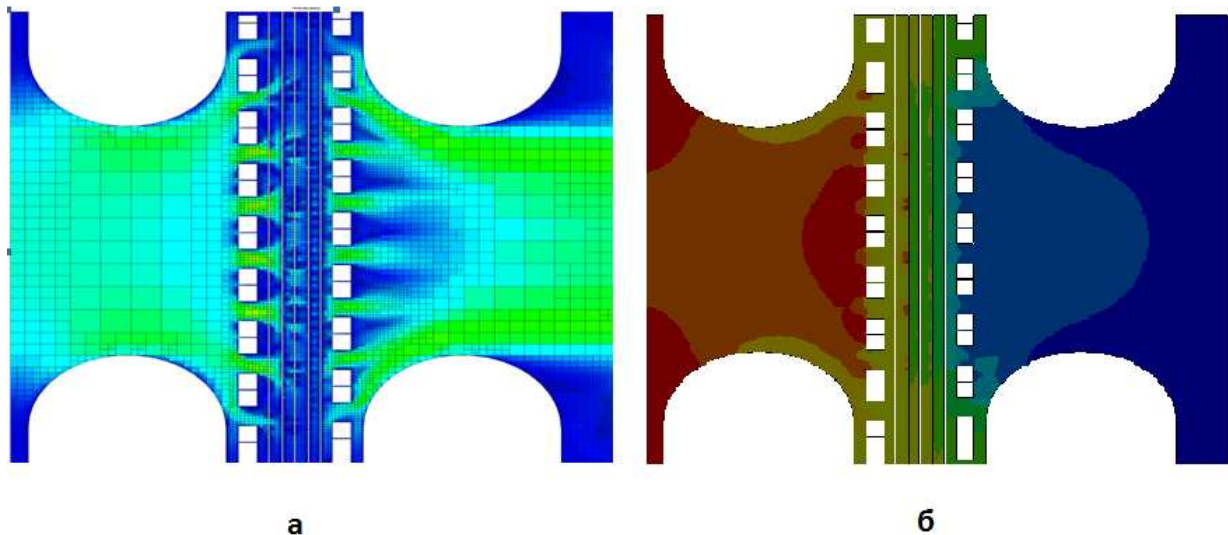


**Рис. 3.** Структура одного слоя фильтрующего материала

Твердотельная модель расчетной области фильтрующего материала для численного моделирования создана в пакете трехмерного моделирования SolidWorks. Объемная сетка создавалась в программном продукте Flow Simulation 2010.

Дополнительно в расчетной сетке, в областях с максимальными градиентами скорости и давления применялось локальное измельчение сетки. Измельчение использовалось в области в межслойном пространстве и в области около волокон, где существует область повышенной турбулизации потока.

Результаты численного моделирования позволили визуализировать течение потоков рабочей жидкости по всему объему фильтрующего материала (рисунок 4, а) и построить картину распределения давления при прохождении жидкостью фильтрующего материала (рисунок 4, б).



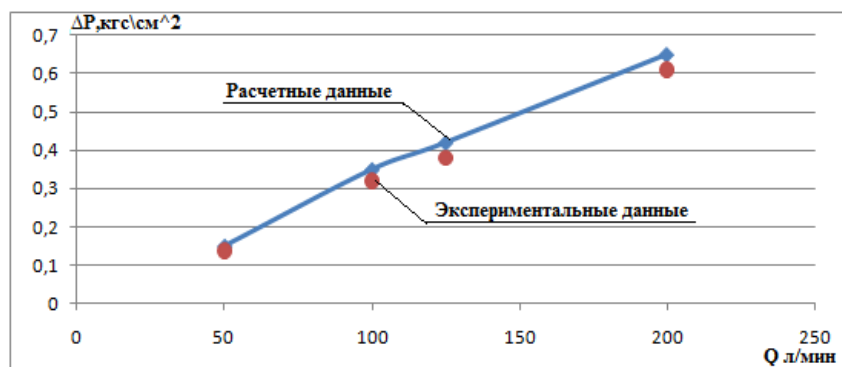
**Рис. 4.** Результаты компьютерного моделирования в пакете COSMOS Flow Works: а – распределение скоростей при прохождении жидкости фильтрующего материала; б – распределение давления при прохождении жидкости фильтрующего материала

По результатам расчета фильтрационного пакета, состоящего из 2-х защитных сеток, 2-х фильтрующих подложек и основного фильтрующего материала, можно сделать следующие выводы: при течении поток рабочей жидкости встречает на пути местные сопротивления и, соответственно, 5 раз происходит падение давления за каждой из

фильтровальных сеток. Перед защитной сеткой наблюдается незначительное увеличение давления, которое падает сразу за сеткой, но тут же начинает возрастать, т.к. поток жидкости подходит к фильтрационной подложке, где проходное сечение меньше. Аналогичная картина наблюдается и на основном фильтрующем материале. Основная часть потерь давления происходит на основном фильтрующем материале, т.к. он имеет наименьшее проходное сечение. Чем больше значение расхода рабочей жидкости, тем больше значение перепада давления.

Из распределения скоростей видно, что максимальная скорость достигается в сквозных каналах основного фильтрующего материала, уменьшается площадь проходного сечения и, как следствие, увеличивается скорость движения жидкости в этих участках (эффект дросселирования жидкости). Скорость за волокнами практически равна нулю. Наибольшее падение скорости наблюдается перед и за защитной сеткой, по причине отрыва потока рабочей жидкости с поверхности проволоки.

Для проверки адекватности расчетной модели на график экспериментальных данных были нанесены расчетные значения (рисунок 10). Значения относительных погрешностей  $\epsilon$ , т.е. отклонения расчетных данных от экспериментальных, не превышает 12 %. Данное значение погрешностей обуславливаются тем, что рассматривалась упрощенная конструкция фильтроэлемента в виде гофрированного цилиндра.



**Рис. 5.** Гидравлическая характеристика фильтроэлемента номинальной толщиной фильтрации 5 мкм

Таким образом, можно утверждать, что предварительные исследования в области численного моделирования на базе пакета COSMOS Flow Works достаточно точно в первом приближении отражают процессы, происходящие в фильтрационных пакетах с объемным принципом фильтрации.

### Список литературы

1. Белянин, П. Н., Черненко, Ж. С. Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем. – М.: Машиностроение, 1964. – 295 с.
2. Бродский Г. С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин. – М.: Горная промышленность, 2003. – 359 с.
3. Гарипов А. А. Тук Д. Е., Целищев В. А. Исследование течения жидкости в фильтроэлементах с объемным принципом фильтрации // Вестник УГАТУ: Научный журнал Уфимского авиационного технического университета. УГАТУ. – Уфа: РИК УГАТУ, 2011. – Т. 15, № 4 (44). – С. 159-163.
4. Гарипов А. А. Тук Д. Е. Целищев В. А. Сравнение гидравлических характеристик фильтроэлементов современных летательных аппаратов. Сборник докладов IX научно-технической конференции «Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства», ИнЭрт-2010, ДГТУ. – Ростов-на-Дону, 2010. – С. 147-158.
5. Рыбаков К. В. Фильтрация авиационных топлив. – М.: Транспорт, 1977. – 164 с.

### Рецензенты:

Гимранов Эрнст Гайсович, доктор технических наук, профессор, кафедра прикладной гидромеханики, УГАТУ, г. Уфа.

Месропян Арсен Владимирович, доктор технических наук, профессор, кафедра прикладной гидромеханики, УГАТУ, г. Уфа.