

Д. Е. Тук, А. А. Гарипов, В. А. Целищев

## ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ПРИНЦИПАМИ ФИЛЬТРАЦИИ

Рассмотрены подходы к моделированию и результаты экспериментальных исследований течения рабочей жидкости фильтроэлементов с различными способами фильтрации. *Фильтроэлемент; фильтр*

Таблица 1

### Основные параметры и характеристики рассматриваемого фильтра

Наименование параметра	Значение
Номинальная тонкость фильтрации, мкм	5
Рабочая среда	масло АМГ-10 ГОСТ 6794-75; жидкость 7-50С-3
Давление рабочей среды, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ): – номинальное – максимальное	0,5 (5) 1,6 (16)
Номинальный расход, л/мин	200
Рабочий диапазон расхода через фильтр, л/мин	40÷220
Масса сухого фильтра, кг, не более	3,2

Современные летательные аппараты представляют собой совокупность реализации очень сложных инженерных идей. Одной из важнейших систем жизнеобеспечения летательного аппарата является система фильтрации гидравлических систем самолета (топливных и масляных систем). Эксплуатация реактивных самолетов на больших высотах и с высокими скоростями полетов приводит к охлаждению и нагреву топлив, что интенсифицирует процессы загрязнения топлив. Расширение 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 топлива 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 гидрооборудование, зачастую связаны с частотой рабочего тела.

В статье представлены исследования различных фильтроэлементов (сеточных и объемных) номинальной тонкости фильтрации 5 мкм.

За базовую модель взят гидравлический фильтр поверхностного фильтрования, номинальной тонкостью фильтрации 5 мкм.

В табл. 1 приведены характеристики фильтра. По данным испытаний на базе стендов ФГУП УАП «Гидравлика» построены гидравлические характеристики фильтров и фильтроэлементов при температурах +25, –10, –40, –45 °С, представленные на рис. 1.

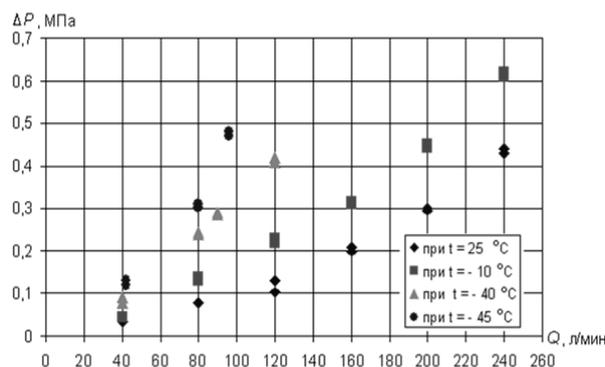


Рис. 1. Гидравлические характеристики фильтроэлемента при различных температурах рабочей жидкости

Для создания модели течения жидкости в фильтроэлементе использован пакет SolidWorks 2007. Пакет SolidWorks представляет собой систему трехмерного твердотельного параметрического проектирования механических узлов и конструкций. В качестве расчетного объекта взят 5-микронный фильтр.

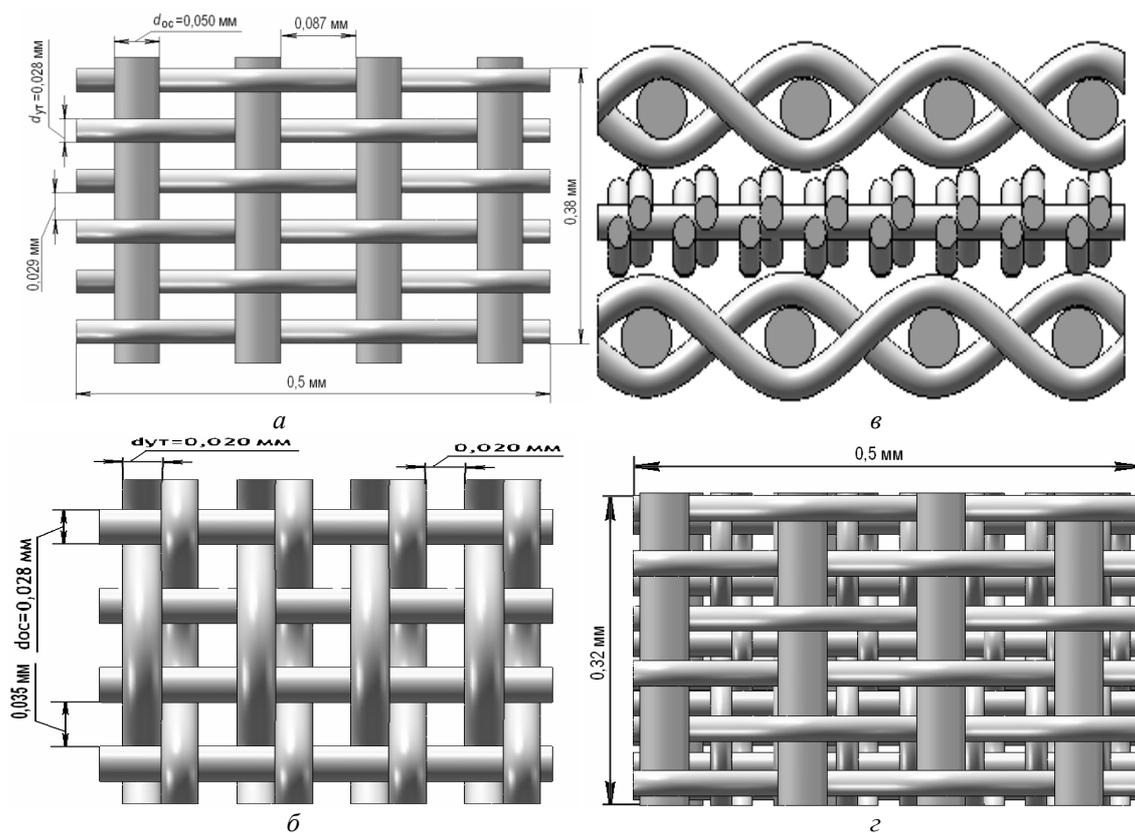


Рис.2. 3D-модель: а – фильтровальной сетки 80/400; б – фильтровальной сетки 160/1100; в – фильтроэлемента вид сбоку; г – фильтроэлемента вид сверху

Данный фильтроэлемент состоит из 2-х каркасных сеток и заключенным между ними фильтрующим материалом (рис. 2). В рассматриваемом фильтре основным фильтрующим материалом в фильтроэлементе является сетка 160/1100, представляющая собой сетку саржевого плетения двухстороннюю. Ее модель и геометрические характеристики представлены на рис. 2, б. В качестве каркасной применяется сетка 80/400, представленная на рис 2, а.

При моделировании были приняты следующие допущения:

- рабочая жидкость несжимаемая;
- процессы изотермические (т. е.  $\mu = \text{const}$ ,  $\rho = \text{const}$ ,  $v = \text{const}$ );
- течение стационарное;
- конструкция фильтровальной сетки абсолютно жесткая.

Твердотельная модель (гофрированный фильтроэлемент в виде цилиндра с тремя слоями фильтрующей сетки) достаточно сложна, в связи с чем полная конструкция фильтроэлемента при проведении численного моделирования не рассматривается.

Моделирование течения жидкости в фильтроэлементе производилось в пакете COSMOS Flow Works .

На рис. 3 представлены результаты расчета в цветовых полях давления и скорости при  $Q = 40$  л/мин.

Результаты расчета, кроме цветовых «заливок», можно представить в виде графиков распределения давления и скорости потока жидкости в фильтроэлементе по длине рабочей области, приведенных на рис. 4 и 5.

По результатам расчета упрощенной модели фильтроэлемента, состоящей из трех сеток, можно сделать следующие выводы: при течении поток рабочей жидкости трижды встречает на пути местные сопротивления, и, соответственно, трижды происходит падение давления за каждой из фильтровальных сеток. Перед первой сеткой наблюдается увеличение давления, которое падает сразу за сеткой, но тут же начинает возрастать, так как поток жидкости подходит к следующей сетке, аналогичная картина наблюдается и на третьей сетке. Чем больше значение расхода рабочей жидкости, тем больше значение перепада давления.

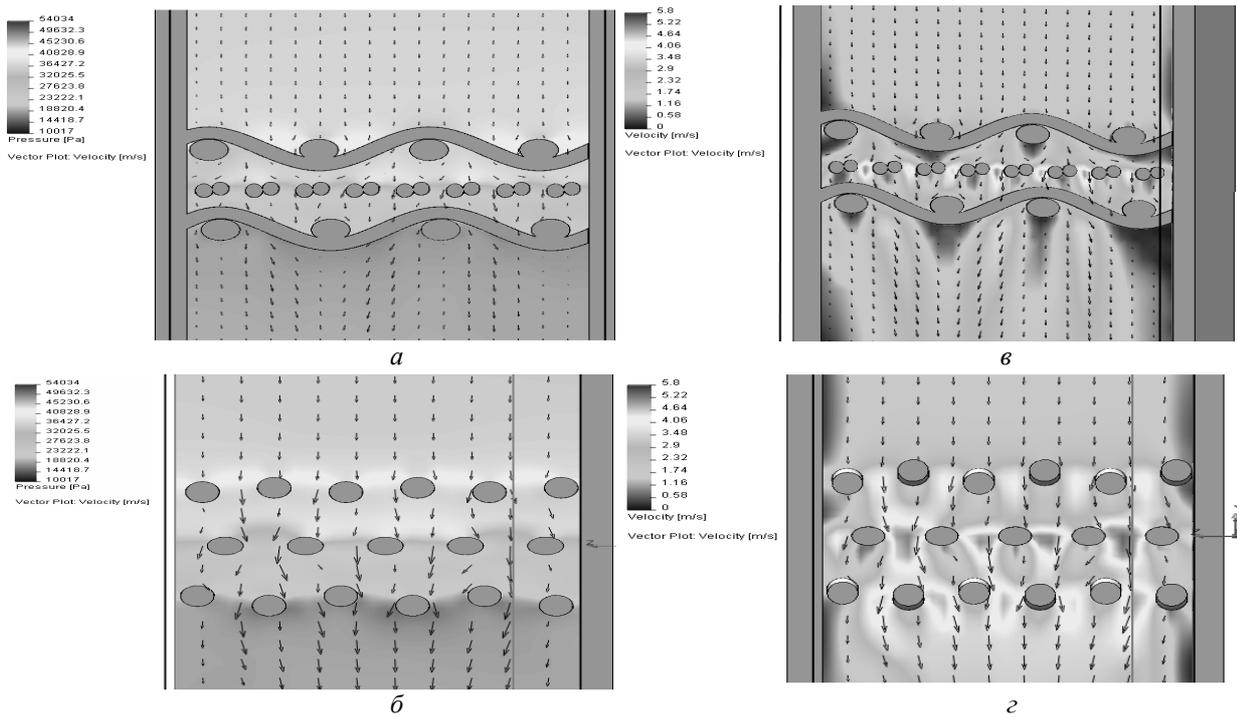


Рис. 3. Распределения: а и б – давления при  $Q = 40$  л/мин; в и г – скорости при  $Q = 40$  л/мин

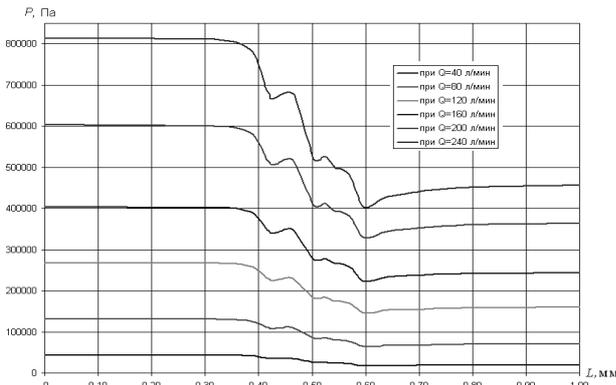


Рис. 4. Распределения давления по длине расчетной области

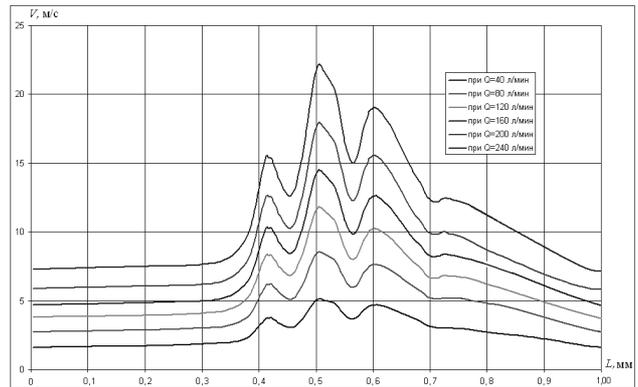


Рис. 5. Распределения скорости по длине расчетной области

При прохождении жидкости через «ячейки в свету» фильтровальной сетки уменьшается площадь проходного сечения и, как следствие, увеличивается скорость движения жидкости на этих участках (эффект дросселирования жидкости). Наибольшее значение скорости наблюдается при прохождении жидкости через ячейки средней сетки (рис. 5). Это явление объясняется тем, что средняя сетка является основным фильтрующим материалом и имеет наименьшую площадь «ячейки в свету» ( $\sim 0,0069 \text{ мм}^2$ ). Уменьшение скорости потока за проволокой происходит вследствие отрыва потока с поверхности проволоки.

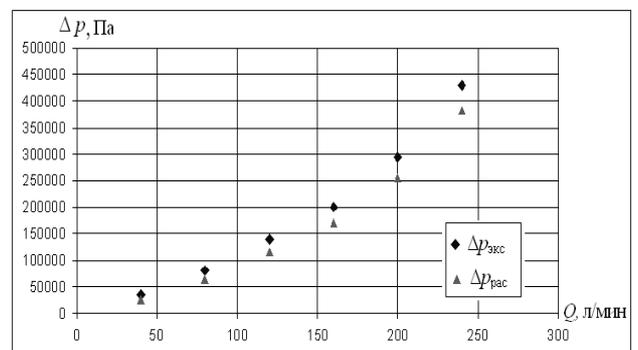


Рис. 6. Гидравлическая характеристика фильтроэлемента

Картина распределения давления на поверхности фильтровальной сетки может служить фактором, определяющим прочностные характеристики фильтровальной сетки и всего фильтроэлемента в целом (рис. 4). На рис. 6 приведены результаты численного моделирования и результаты натуральных испытаний.

Значения относительных погрешностей  $\varepsilon$ , (т. е. отклонения расчетных данных от экспериментальных) не превышает 11 %. Погрешность моделирования обуславливается тем, что рассматривалась не сложная конструкция фильтроэлемента в виде гофрированного цилиндра, а его упрощенная модель.

В табл. 2 приведены характеристики 5-микронного фильтроэлемента с объемным принципом фильтрации.

Данный фильтр – это гидравлический фильтр тонкой очистки, предназначенный для очистки рабочей среды в линии слива гидравлической системы самолета.

Таблица 2

#### Основные параметры и характеристики рассматриваемого фильтра

Наименование параметра	Значение
Номинальная тонкость фильтрации, мкм	5
Рабочая среда	масло НГЖ-5У ТУ 38.401-58-57-93 жидкость Skydrol LD-4
Давление рабочей среды, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ): – номинальное – максимальное	3 (30)
Номинальный расход, л/мин	150
Рабочий диапазон расхода через фильтр, л/мин	30÷170
Масса сухого фильтра, кг, не более	4,0

По данным испытаний были построены гидравлические характеристики фильтров и фильтроэлементов при температурах +140, +70, +25, 0, –25, –40, °С, представленные на рис. 7. Данный материал подробно приведен авторами в [4].

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить концепцию численного моделирования фильтров объемной фильтрации, выбор алгоритмов расчета, начальные и граничные условия для решения математической модели фильтроэлемента.

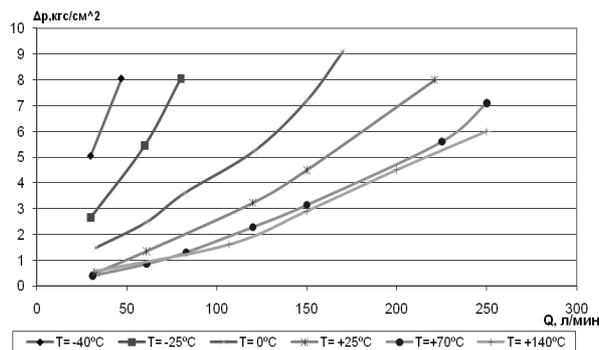


Рис. 7. Гидравлические характеристики объемного фильтроэлемента при различных температурах

На рис. 8 представлены геометрические показатели 3D модели объемного фильтроэлемента. Компьютерное моделирование осуществлялось в пакете прикладных программ COSMOS Flow Works. В качестве расчетного материала фильтроэлемента объемного фильтрации выбран материал типа МФТО-5. В связи с тем, что структура фильтрующего материала сложна (рис. 8), при построении твердотельной модели было принято допущение, что ячейка имеет форму шестигранника. При построении трехмерной структуры фильтрующего материала модель будет иметь сотовый вид. Сам фильтрующий материал представляет собой 10 сотовых слоев, каждый из которых смещен друг относительно друга.

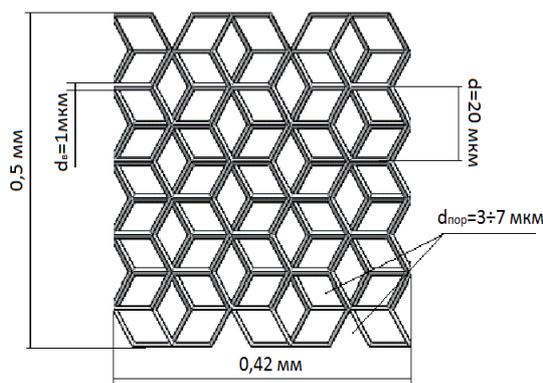
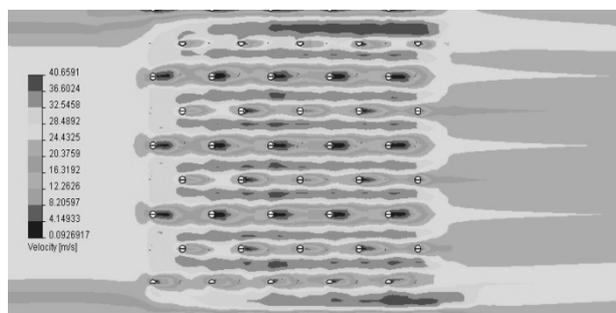


Рис. 8. 3D-модель объемного фильтроэлемента

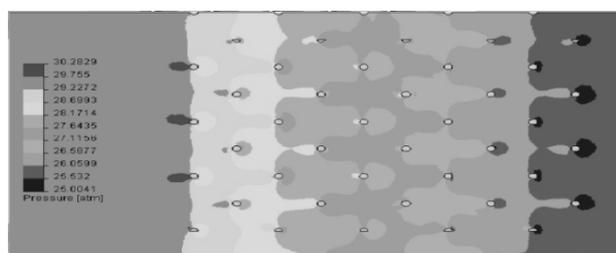
Результаты численного моделирования позволили визуализировать течение потоков рабочей жидкости по всему объему фильтрующего материала (рис. 9, а) и построить картину распределения давления при прохождении жидкостью фильтрующего материала (рис. 9, б).

Из результатов расчета распределения скоростей при прохождении жидкости фильтрую-

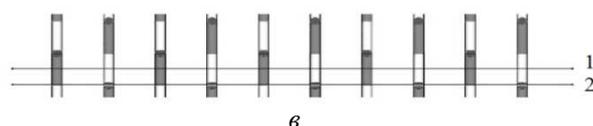
щего материала следует, что скорость течения жидкости увеличивается на 0,3 % при прохождении каждого из слоев фильтрующего материала. В объеме сетки поток жидкости развивает высокую скорость течения в сквозных каналах, а скорость за волокнами практически равна нулю.



а



б

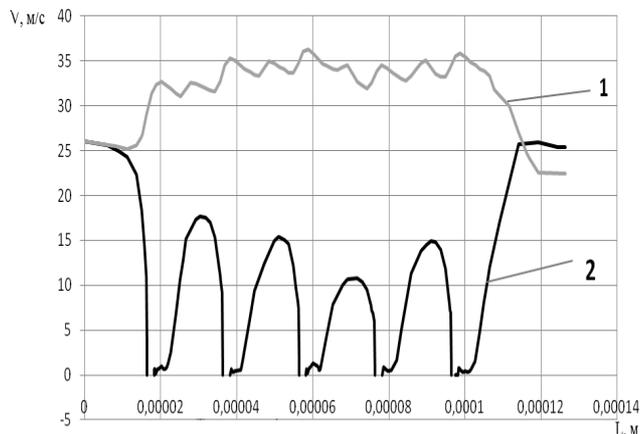


в

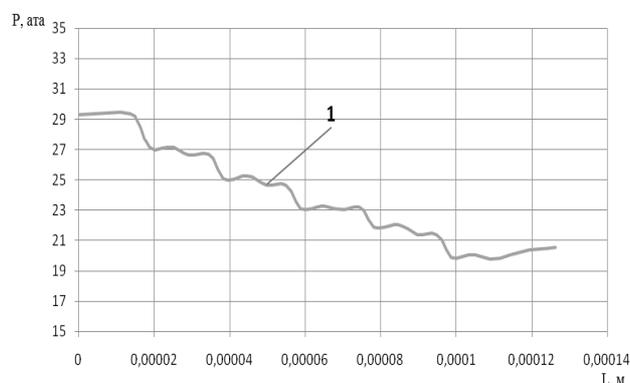
**Рис. 9.** Результаты компьютерного моделирования в пакете COSMOS Flow Works: а – распределение скоростей при прохождении жидкости фильтрующего материала; б – распределение давления при прохождении жидкости фильтрующего материала; в – схема измерений

Картина распределения давления при прохождении жидкости фильтрующего материала показывает, что при прохождении жидкостью каждого из слоев фильтрующего материала давление понижается. Основная часть потерь давления происходит на первых слоях фильтрующего элемента, что свидетельствует о том, что они воспринимают большую часть нагрузки и подвержены большей деформации по сравнению с последующими слоями.

График скорости при прохождении рабочей жидкости фильтрующего материала приведен на рис. 10. На рис. 9, в приведена схема измерений параметров.



**Рис. 10.** График скорости потока при прохождении фильтрующего материала



**Рис. 11.** График давления при прохождении фильтрующего материала

Измерения давления проводились на двух участках, первый участок – не пересекает волокна фильтрующего материала, второй – проходит через материал, пересекая волокна. Из графика распределения скорости видно, что после увеличения скорости на первом слое участка 1 (рис. 10), далее происходят незначительные (не более 9 %) пульсации скорости на каждом последующем слое. На втором участке измерений поток рабочей жидкости упирается в пересечения волокон, где скорость равна нулю. После прохождения пересечения волокон скорость при выходе из турбулентной зоны возрастает. В дальнейшем при движении жидкости вдоль фильтроэлемента значение ее средней скорости от слоя к слою носит синусоидальный характер. Из картины и графиков распределению давления следует, что основной перепад давления идет на первых 5 слоях, на последующих слоях перепад давления уменьшается незначительно.

На рис. 12 приведены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований фильтроэлемента с объемным принципом

пом фильтрации. Значения относительных погрешностей расчета составляет не более 7 %. Расхождение результатов можно объяснить тем фактором, что при моделировании не учитывался разброс размеров ячеек слоя фильтрующего материала в диапазоне от 3 до 10 мкм.

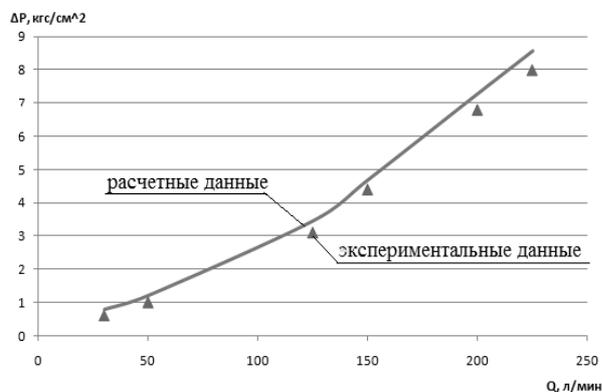


Рис. 12. Гидравлическая характеристика фильтроэлемента

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 фильтрах с объемным принципом фильтрации.

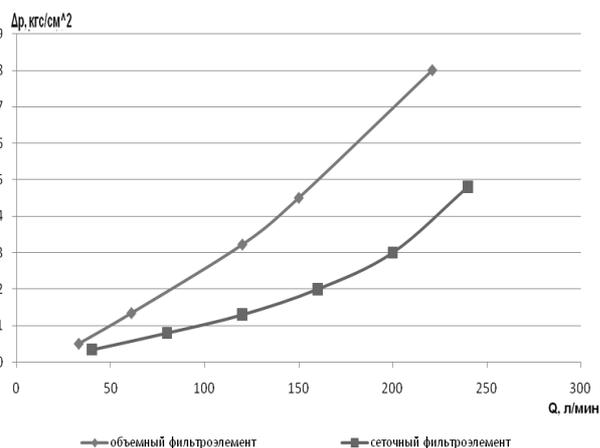


Рис. 13. Гидравлическая характеристика фильтроэлементов

На рис. 13 представлено сравнение гидравлических характеристик объемного и поверхностного фильтроэлементов. Из графика видно, что перепад давления на объемном фильтроэле-

менте больше, чем на сетчатом. Это обусловлено сложной структурой плетения фильтрующего материала. В тоже время следует отметить, что фильтроэлементы с объемным принципом фильтрации являются весьма перспективными в гражданской авиации, так как они являются не регенерируемы и не требуют дополнительных ресурсов для замены. С фильтроэлементами поверхностной фильтрации обратная ситуация: данные фильтры зарекомендовали себя как надежные и долговечные, но требуют дополнительных ресурсов на промывку фильтроэлемента после выработки ресурса фильтра.

### 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. **Рыбаков К. В.** Фильтрация авиационных топлив. М.: Транспорт, 1977. 164 с.
4. **Гарипов А. А., Тук Д. Е., Целищев В. А.** Сравнение гидравлических характеристик фильтроэлементов современных летательных аппаратов // Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях, машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства: сб. докл. IX науч.-техн. конф. ИнЭрт-2010, ДГТУ, Ростов-на-Дону, 2010. С. 147–158.

### ОБ АВТОРАХ

**Тук Дмитрий Евгеньевич**, гл. конструктор ФГУП УАП «Гидравлика». Дипл. инженер-механик по гидравлическ. машинам (УГАТУ, 1987). Иссл. в обл. фильтрации жидкости.

**Гарипов Артур Альбертович**, асп. каф. прикл. гидромеханики (УГАТУ, 2009). Дипл. инженер техники и технологии по энергомашиностроению (УГАТУ, 2008) Иссл. в обл. моделирования фильтрации жидкости.

**Целищев Владимир Александрович**, зав., проф. той же каф. Дипл. инженер-механик по гидравлическ. машинам (УГАТУ, 1982). Д-р техн. наук по тепловым двигателям (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. систем автоматики ЛА и двигательных установок.