

**ПРОБЛЕМЫ ОБЛИТЕРАЦИИ В КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРУКТУРАХ ИЗДЕЛИЙ ГИДРОСИСТЕМ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

© 2009 Е. А. Изжеуров, Д. А. Угланов

Самарский государственный аэрокосмический университет

В статье рассмотрена проблема заклинивания (облитерации) потока жидкости в капиллярных структурах и пористых элементах гидросистем аэрокосмической техники. Представлены результаты численного моделирования этого процесса.

*Поток жидкости, капиллярные структуры, пористые элементы гидросистем, численное моделирование*

Для обеспечения работы двигателей современных летательных аппаратов применяются различные гидравлические системы, представляющие собой сложное сочетание различных элементов и узлов. Одними из таких элементов являются капиллярно-пористые структуры, которые используются для очистки жидкостей от загрязнений. Среди капиллярно-пористых структур выделяется материал МР благодаря своей открытой пористости, частично связанной структуре, который получают холодным прессованием дозированной по весу вытянутой проволоочной спирали. Данные элементы используются в гидравлических системах в качестве дросселирующих элементов, фильтров, катализаторов и т.д. [1].

Как известно, поры в одном элементе, выполненном из материала МР, имеют различные размеры. Исследование показали, что распределение объемов пор по размерам пор материала МР соответствует нормальному закону распределения [1]. На рис. 1 представлено распределение пор в образцах, выполненных соответственно из проволоки  $d_n = 90\text{мкм}$  и  $d_n = 500\text{мкм}$ . Пористость первого образца  $P = 0,207$ , а второго -  $0,398$ .

При создании систем гидроавтоматики часто возникает проблема получения стабильного и регулируемого расхода жидкости в элементах с малым проходным сечением каналов (диаметр менее  $0,3\text{мм}$ ). При этом течение в капиллярах и таких каналах не подчиняется общим законам гидродинамики и сопровождается существенным уменьшением расхода (и даже закупоркой канала) в течение нескольких минут, а иногда даже и

секунд [2,3,4]. В настоящее время известно, что нестабильность малых расходов происходит в результате зарастивания (облитерации) канала. По одной из гипотез [2], объясняющих это явление, считается, что облитерация канала инициируется поляризованными молекулами рабочей жидкости. При этом на поверхности канала образуются прочные слои молекул рабочей жидкости, которые меняют её вязкость в проходном сечении и уменьшают это сечение или вовсе его перекрывают. Толщина такого слоя зависит от рода жидкостей, а интенсивность его нарастания возрастает с ростом давления перед капилляром, т.е. с увеличением расхода вследствие поступления большого количества новых активных молекул жидкости [2]. Таким образом, согласно вышеуказанной гипотезе, нестабильность малых расходов объясняется поверхностным явлением – адсорбцией, когда на поверхности капилляра благодаря наличию на нем свободного электрического поля удерживаются активные поляризованные молекулы жидкости, поступающие из потока. Притягиваясь к поверхности канала (адсорбента), эти молекулы накапливаются на ней в определенном количестве, отвечающем напряженности силового поля. По данным [2,3,5] толщина такого адсорбционного слоя для высокомолекулярных веществ доходит до  $0,1\text{мкм}$ .

При возникновении данного явления в изделиях из МР, которые используются в составе для различных целей в авиационных двигателях и энергетических установках, могут возникать технические проблемы как с их отделенными системами, так и со всей

силовой установкой в целом. Так, например, применение струйных форсунок с вкладышем из МР позволяет увеличить конус распыла, уменьшить диаметр капель распыляемого топлива. Соответственно это все даёт возможность улучшить процесс горения топливовоздушной смеси в камере сгорания и тем самым повысить мощность энергетической установки при сохранении высокого расхода. Жидкость в таких форсунках, проходя через пористый элемент, турбулизируется и дробится на мелкие струйки, которые вытекают под различными углами к оси форсунки, соударяются и разрушаются. За срезом практически отсутствует сплошная часть струй. Диаметр струек определяется размером пор элемента из МР.

В случае частичного запираания некоторых пор элемента из МР произойдет ухудшение процесса распыла топлива (капли будут иметь больший размер, появится неравномерность распыла топлива), что негативно отразится на процессе горения топлива и приведет к уменьшению мощности установки, увеличит выбросы вредных веществ и т.д. В конце концов при полном запираании такой форсунки (запирание всех пор вкладыша из МР) произойдет срыв процесса горения из-за прекращения подачи топлива.

Учитывая этот факт и зная, что размеры пор различны, следует определить, как будет меняться расход жидкости в материале МР в течение времени. На начальном этапе исследований было выполнено численное моделирование. Для этого были использованы результаты течений в капиллярах, имеющих диаметры, равные диаметрам пор МР [2]. Для упрощения задачи было принято допущение, что все поры имеют цилиндрическую форму [1]. Высота образцов материала МР (рис. 1)  $h = 20$  мм. Исследуемая жидкость – масло АМГ-10.

На основе этого следует, что суммарный объем всех пор  $V_{\Sigma}$  образца из материала МР будет определяться соответственно выражением

$$V_{\Sigma} = \sum V_{\Sigma i},$$

где  $V_{\Sigma i}$  – суммарный объем пор  $i$ -го размера, который определяется по соотношению

$$V_{\Sigma i} = V_i \cdot m_i,$$

где  $V_i$  – объем поры  $i$ -го размера,  $m_i$  – количе-

ство пор  $i$ -го размера. Объем поры  $i$ -го размера определится по следующей формуле (в которой  $d_i$  – диаметр поры  $i$ -го размера):

$$V_i = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} h.$$

Объемная доля рабочего вещества  $n_i$ , проходящего через материал МР, будет определяться выражением

$$n_i = V_{\Sigma i} / V_{\Sigma}.$$

Тогда текущий расход через поры определенного размера  $G_{\Sigma i}$  будет определяться исходя из общего расхода  $G_0$  перед элементом гидросистем из материала МР и объемной доли рабочего вещества  $n_i$ :

$$G_{\Sigma i} = n_i \cdot G_0.$$

Через некоторое время после начала течения в соответствии с [4] некоторые поры малого размера начнут «зарастать» до процесса полного запираания пор определенного размера. Это будет приводить к уменьшению полного расхода жидкости на величину во времени, равную текущему расходу через поры определенного размера  $G_{\Sigma i}$ :

$$G = G_0 - G_{\Sigma i}.$$

На основе данной методики и данных, представленных в работе [2], был проведен анализ явления облитерации в порах материала, выполненного из МР. Результаты данного исследования представлены на рис. 2-5 с учетом изменения расхода во времени.

В результате проведенного моделирования было получено для образца (а) уменьшение расхода на 30...35% при избыточном давлении 0,5 атм и 2 атм за время 150 с и 90 с соответственно. Для образца (б) уменьшение расхода на 25 % при избыточном давлении 0,5 атм и 2 атм за время 140 с и 80 с соответственно. Результаты изменения во времени относительного расхода жидкости при давлении 2 атм для образца МР (а) представлены на рис. 5. Начальный суммарный расход жидкости через МР составляет величину  $G_0 = 120$  см<sup>3</sup>/мин, через 5 с  $G_0 = 116$  см<sup>3</sup>/мин, а через 50 с  $G_0 = 86$  см<sup>3</sup>/мин, а затем расход остается практически неизменным. Таким образом практически через минуту поры, имеющие диаметры малого размера (менее 30 мкм) запрутся полностью, а поры диаметра от 30 мкм до 60 мкм запрутся частично.

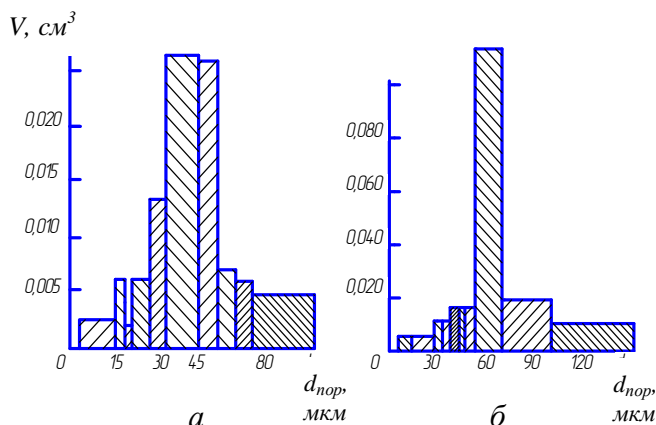


Рис. 1. Гистограммы зависимости объема пор от их размера: а -  $d_n = 90 \text{ мкм}$  и  $P = 0,207$ ; б -  $d_n = 500 \text{ мкм}$  и  $P = 0,398$

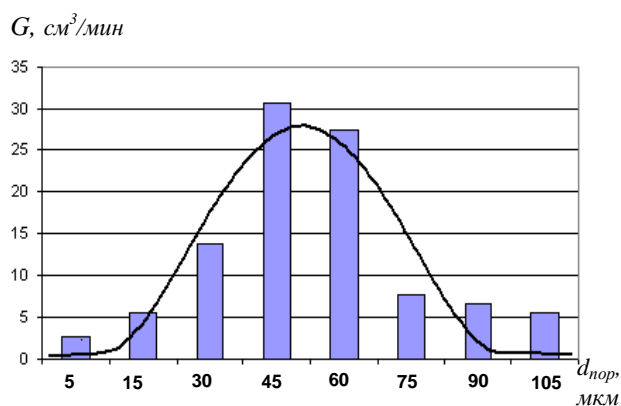


Рис. 2. Распределение расхода жидкости в порах образца (а), выполненного из материала МР в начальный момент времени

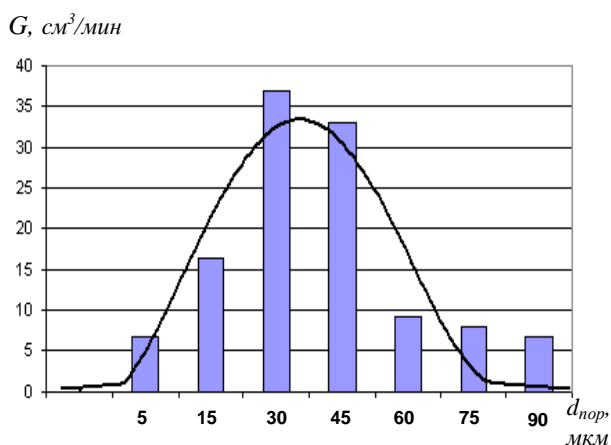


Рис. 3. Распределение расхода жидкости в порах образца (а), выполненного из материала МР через 5 с после начала течения

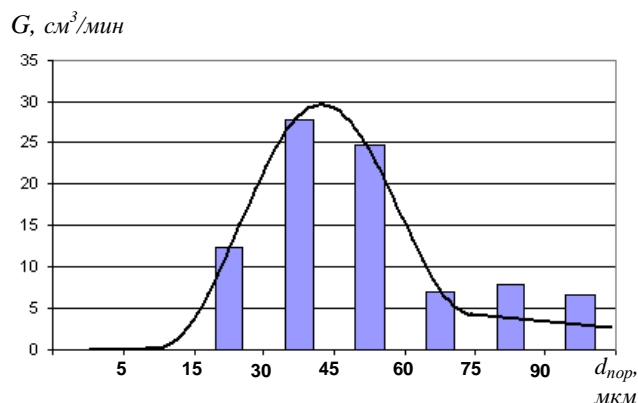


Рис. 4. Распределение расхода жидкости в порах образца (а), выполненного из материала МР через 50 с после начала течения

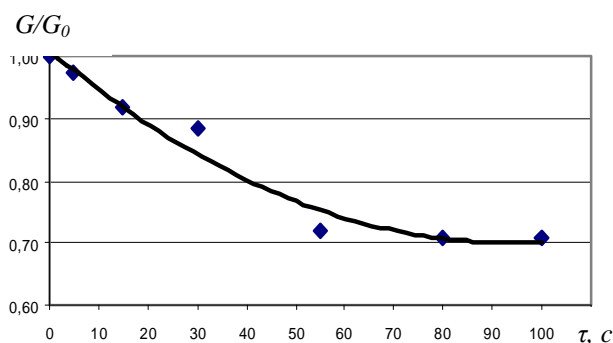


Рис. 5. Изменение расхода жидкости в образце (а) из материала МР.  $G$  - текущий расход жидкости;  $G_0$  - начальный расход жидкости

Таким образом, предварительные исследования, представленные в данной работе позволяют сделать вывод о необходимости дальнейшего изучения вопроса облитерации в капиллярно-пористых структурах.

### Библиографический список

1. Изжеуров, Е.А. Расчет и проектирование изделий из материала МР для гидравлических и газовых систем энергетических установок летательных аппаратов: дис. ... д-ра техн. наук / Е.А. Изжеуров. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. Ун-т, 2003.
2. Кичин, И.Н. Экспериментальное исследование методов регулирования малых расходов рабочей жидкости и борьба с облитерацией в гидроавтоматике: дис. ... канд. техн. наук / И.Н. Кичин. – М.: Ин-т автоматки и телемеханики АН СССР, 1957.
3. Башта, Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов / Т.М. Башта. - М.: Машиностроение, 1967. - 496 с.
4. Погодаев, Ф.Г. Исследование торцевых (механических) уплотнений самолетных

гидравлических агрегатов: дис. ... канд. техн. наук / Ф.Г. Погодаев. – Киев: Киев. ин-т инж. граждан. возд. флота, 1960.

5. Ванчиков, В.Ц. Гидродинамические свойства и методы управления вязким подслоем технических систем: дис. ... канд. техн. наук / В.Ц. Ванчиков. - Улан-Удэ: Вост.-Сиб. гос. технол. ун-т, 2001.

### References

1. Izzheurov E.A. Calculation and planning of wares from material of MR for the hydraulic and gases systems of power plants of aircrafts / Doctoral dissertation Samara: SSAU, 2003.

2. Kichin I.N., Experimental research of methods of adjusting of small charges of work-

ing liquid and fight against obliteration in gidroavtomatike / Candidate's dissertation, Institute of automation and telemekhaniki, 1957.

3. Bashta T.M., Hydraulic drives of aircrafts. M.: « Engineer », 1967, 496 pages.

4. Pogodaev F.G., Research of compressions of butt ends (mechanical) of hydraulic aggregates of airplanes / Candidate's dissertation, Kievan institute of engineers of civil air force, 1960.

5. Vanchikov V., Hydrodynamic properties and methods of management the viscid sublayer of the technical systems / Candidate's dissertation, Ulan-Ude: ESSTU, 2001.

## OBLITERATION'S PROBLEMS IN CAPILLARY-POROUS STRUCTURES OF AEROSPACE HYDRO SYSTEMS' PARTS

© 2009 E. A. Izzheurov, D. A. Uglanov

Samara state aerospace university

This paper deals with a problem of locking (obliteration) in capillary structures and porous parts used in aerospace hydro systems. It is shown the results of this process' computational modeling.

*Stream of liquid, capillary structures, porous elements of hydrosystem, numeral design*

### Информация об авторах

**Изжеуров Евгений Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем и энергетических установок Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 335-86-51, 267-43-36. E-mail: [Iszheurov@ssau.ru](mailto:Iszheurov@ssau.ru). Область научных интересов: метало-резина, исследование течений жидкостей в капиллярных структурах, лазерная техника, нанотехнологии, системы охлаждения энергетических установок.

**Угланов Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры Теплотехники и тепловых двигателей Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 335-18-12. E-mail: [Teplotex\\_ssau@bk.ru](mailto:Teplotex_ssau@bk.ru). Область научных интересов: лазерные системы, системы охлаждения энергетических установок, исследование течений жидкостей в капиллярных структурах, гидродинамика закрученных струй.

**Izzheurov Evgenii Aleksandrovich**, doctor of engineering science, professor of department of automatic systems of power plants of Samara State Aerospace University. Phone: (846) 335-86-51, 267-43-36. E-mail: [Iszheurov@ssau.ru](mailto:Iszheurov@ssau.ru). Area of research: metalo-rezina, research of flows of liquids in capillary structures, laser technique, nanotechnologies, systems of cooling of power ustano-vok.

**Uglanov Dmitrii Aleksandrovich**, candidate of technical science, the senior lecturer of department thermotechnics and heat engines of Samara state aerospace university. Phone: (846) 335-18-12, [Teplotex\\_ssau@bk.ru](mailto:Teplotex_ssau@bk.ru). Area of research: systems of lasers, systems of cooling of power plants, research of flows of liquids in capillary structures hydrodynamics of involute streams.