

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 запираания (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_{Σ} 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 размер 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 $G_0 = 120$ см³/мин, через 5 с $G_0 = 116$ см³/мин, а через 50 с $G_0 = 86$ см³/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.

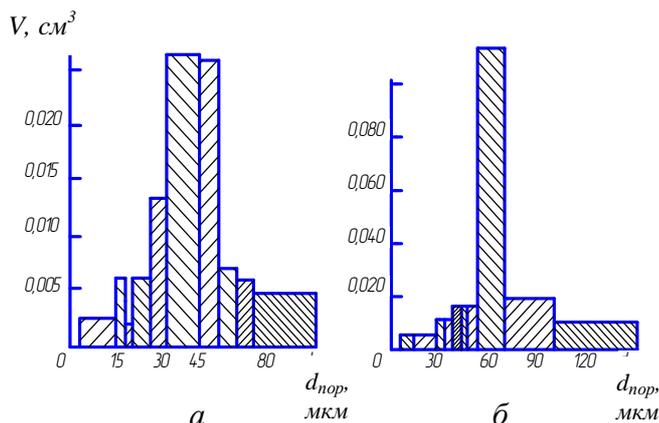


Рис. 1. Гистограммы зависимости объема пор от их размера: а - $d_n = 90 \text{ мкм}$ и $P = 0,207$; б - $d_n = 500 \text{ мкм}$ и $P = 0,398$

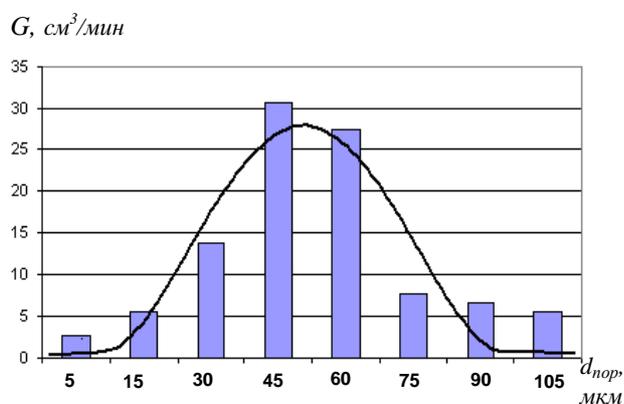


Рис. 2. Распределение расхода жидкости в порах образца (а), выполненного из материала МР в начальный момент времени

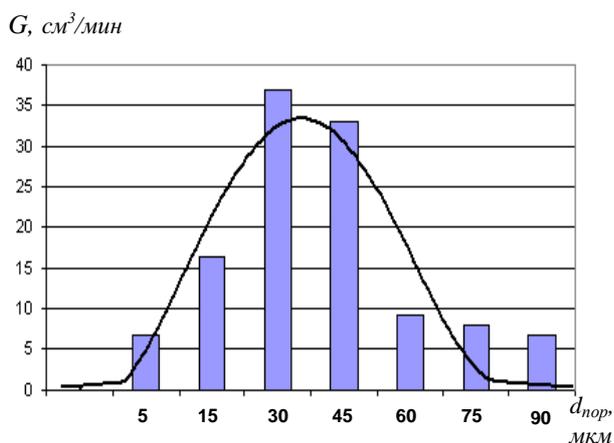


Рис. 3. Распределение расхода жидкости в порах образца (а), выполненного из материала МР через 5 с после начала течения

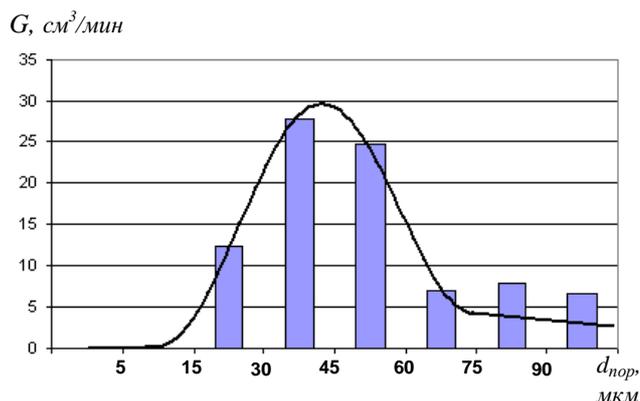


Рис. 4. Распределение расхода жидкости в порах образца (а), выполненного из материала МР через 50 с после начала течения

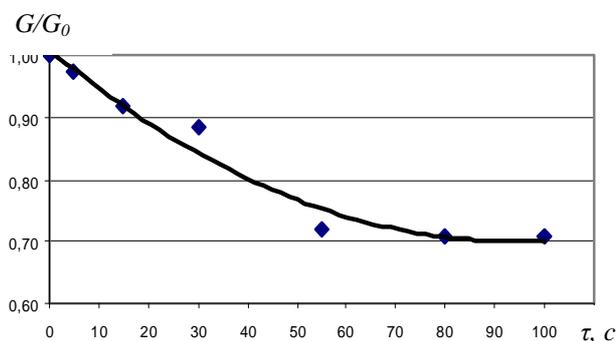


Рис. 5. Изменение расхода жидкости в образце (а) из материала МР. G - текущий расход жидкости; G_0 - начальный расход жидкости

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. 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. 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. 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. Area of research: systems of lasers, systems of cooling of power plants, research of flows of liquids in capillary structures hydrodynamics of involute streams.