

УДК 532.593 : 541.24

С.А. ДАВЫДОВ

Днепропетровский национальный университет, Украина

ПРОНИКНОВЕНИЕ ГАЗА ЧЕРЕЗ СЕТЧАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ТОПЛИВА КОСМИЧЕСКОГО ЛА

Представлена математическая модель прорыва газовой фазы через сетчатые элементы системы обеспечения сплошности топлива космического летательного аппарата (КЛА). Предложены расчетные зависимости для определения потери давления на сетчатом разделителе на разных фазах проникновения через него газа. На основе построенной математической модели получены результаты численных расчетов.

сетчатые разделители фаз, ракетное топливо, космический летательный аппарат, заборное устройство, топливные баки

Введение

В настоящее время одним из наиболее эффективных способов управления положением и сливом топлива в условиях пониженной гравитации являются капиллярные системы обеспечения сплошности (СОС) топлива на основе тканых металлических сеток [1 – 3].

На этапе проектирования СОС на основе сетчатых фазоразделителей (СФР) предполагается, что в течение всего времени полета КЛА, вплоть до полной выработки топлива, прорыв газовой фазы через сетчатую разделительную поверхность не происходит. Существующие инженерные методики расчета проектных параметров подобных устройств ориентированы на оценку статических и динамических воздействий на СФР, которые могут быть выдержаны системой управления положением топлива (СУПТ) без срыва ее нормального функционирования [4, 5]. Однако представляет существенный интерес процесс прорыва газовой фазы через СФР и особенности функционирования СУПТ при нарушении ее работоспособности.

Интерес к функционированию СУПТ сетчатого типа после прорыва через сепарирующий барьер газовой фазы возникает в ситуациях, когда условиями эксплуатации летательного аппарата допускается ограниченное проникновение газа наддува через СФР. Некоторые конструкции СФР [1] предусматривают на пути движения топлива к сливной маги-

страли нескольких сетчатых экранирующих поверхностей, через которые будет проходить газ наддува по мере опорожнения топливной емкости. Кроме того, тканые сетки, либо перфорированные пластины могут использоваться в качестве демпферов колебаний топлива. Прорыв газа через их ячейки не является срывом нормального функционирования.

Ниже представлена математическая модель процесса проникновения через ячейки СФР газовой фазы, а также основные результаты численных расчетов, полученных на основе данной модели.

1. Математическая модель

Рассмотрим топливный бак 2 сферической формы с сетчатым заборным устройством 5, которое геометрически представляет собой круг радиусом $R_{сфр}$ (рис. 1). Топливный бак находится под действием массовой силы $\vec{F}_м$. Вектор $\vec{F}_м$ пересекает продольную ось бака под углом α . Из бака осуществляется слив жидкости в магистраль 7 с заданным расходом $Q(t)$. Предполагаем, что внешняя массовая сила не меняет своего направления. Поверхность раздела «жидкость-газ» занимает некоторое, относительно устойчивое, положение 4 внутри бака 2. Кривизна поверхности раздела фаз (ПРФ) определяется критерием Бонда [1]. В рассматриваемом случае предполагается, что числа Бонда достаточно велики и, соответственно, мала кривизна ПРФ.

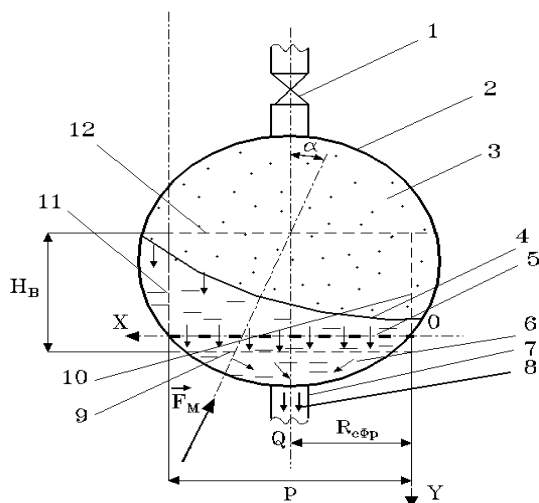


Рис. 1. Топливный бак (2) с сетчатым заборным устройством (5):
1 – дренажный клапан; 3 – газ наддува; 4 – поверхность раздела фаз; 6 – жидкость; 7 – сливная магистраль; 8 – направление движения жидкости; 9, 12 – основания выделенной области; 10, 11 – боковые границы; p – длина стороны основания; H_B – высота выделенной области; Q – расход жидкости из бака; α – угол наклона вектора массовой силы $\vec{F}_M$; $R_{cфр}$ – радиус рабочей поверхности СФР

Прорыв газовой фазы через СФР в штатных условиях функционирования СУПТ происходит практически при полном опорожнении ТБ. Целью настоящих исследований является определение потери давления на сетчатом разделителе в процессе прохождения через него газа. Поэтому при построении математической модели полагается, что вне «заневоленной» части бака находится незначительный объем жидкости. Под «заневоленной» понимается часть бака ограниченная СФР и содержащая сливное отверстие. Угол α достаточно мал. При указанных ограничениях можно рассматривать динамику ПРФ в пределах малой окрестности СФР, которая располагается между фиктивными границами 9 и 12.

Заменим выделенный, шаровой сегмент на прямоугольный параллелепипед, верхнее и нижнее основания которого располагаются в плоскостях границ 9 и 12 и имеют площадь $S_{cфр}$. Две противоположные боковые грани параллелепипеда 10 и 11 располагаются друг от друга на расстоянии p , перпендикулярны плоскости СФР и проекции вектора массовой силы $\vec{F}_M$ на плоскость СФР. Кроме того,

они пересекают СФР 5 в точке его контакта со стенкой бака. Положение второй пары противоположных боковых граней определяется по положению первой пары. На рис. 1 эти грани не показаны. Расстояние q между ними находится из условия равенства площади основания параллелепипеда и площади СФР. Если СФР геометрически представляет собой круг радиусом $R_{cфр}$, то $p = 2R_{cфр}$; $q = (\pi/2)R_{cфр}$.

На рис. 2, а схематично представлена выделенная часть топливной емкости с СФР. Как указывалось выше, фиктивные границы 11 и 12 представляют собой боковые грани параллелепипеда, а грани 13 и 14 – его основания.

Введем в рассмотрение прямоугольную декартову систему координат XOY , положение координатных осей которой показано на рис. 1 и 2.

Жидкость двигается в положительном направлении оси OY со скоростью $V_Q = Q(t)/S_{cфр}$ на границе 14 выделенной области. В дальнейшем будем полагать, что расход жидкости из ТБ на протяжении всего исследуемого промежутка времени не меняется, т.е. $V_Q = \text{const}$. В результате действия внешней массовой силы $\vec{F}_M$ ПРФ занимает некоторое устойчивое положение внутри ТБ.

Для достаточно больших чисел Бонда это положение можно однозначно идентифицировать углом α между ПРФ «жидкость-газ» 4 и сетчатым разделителем 3 (рис. 2, а). В начальный момент времени $t = t_0$ минимальное расстояние между ПРФ и СФР $y_0 = h_0$ ($x_0 = 0$) и СФР полностью погружен в жидкость.

Можно выделить 4 фазы взаимодействия ПРФ с СФР. На первой фазе взаимодействия сетчатый разделитель полностью погружен в жидкость (рис. 2, а). На второй фазе взаимодействия, которую можно назвать фазой нормального функционирования СФР, существует ограниченный контакт сетчатой поверхности с газом наддува (рис. 2, б). Часть поверхности раздела «жидкость-газ» занимает некоторое равновесное положение 6 в ячейках СФР и капиллярная сила $\vec{F}_c$ не позволяет газу наддува 5 пройти через сетку 3. На третьей фазе взаимодействия, фазе срыва

работоспособности СФР в условиях частичного контакта сетчатой поверхности с газом наддува 5, происходит проникновение газовой фазы через сетку в виде отдельных пузырей 8 (рис. 2, в). Общий перепад давления на СФР 3 превосходит его удерживающую способность. Часть сетчатой поверхности погружена в жидкость и через нее продолжается движение жидкостного потока в направлении 2. На четвертой фазе

взаимодействия ПРФ с СФР, которую условно можно назвать фазой срыва работоспособности СУПТ в условиях полного контакта сетчатой поверхности с газом наддува (рис. 2, г), происходит движение жидкостного потока вне пределов сетчатого разделителя в направлении 2. Однако, на поверхности СФР 3 остается пленка жидкости 9, которая создает преграду, для прохождения через его ячейки газа наддува 5.

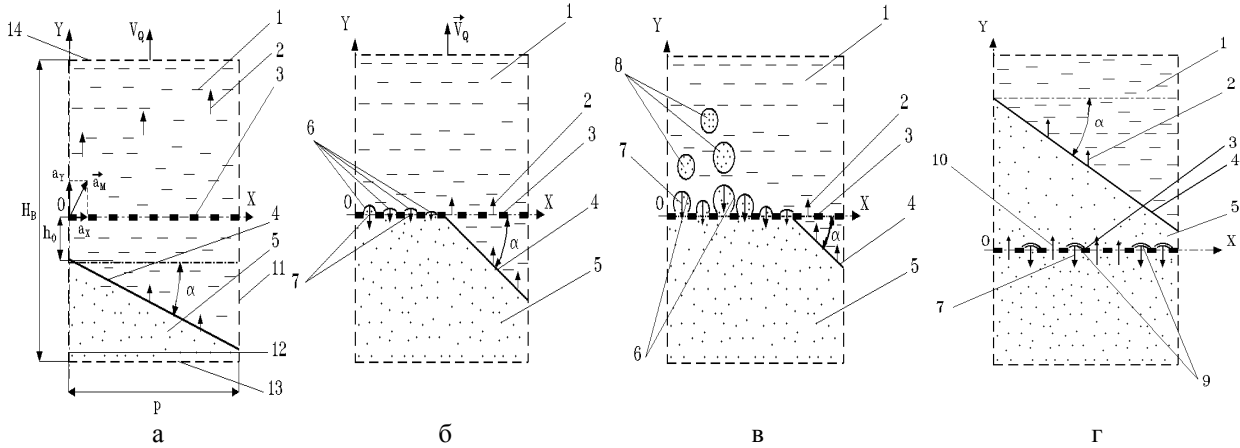


Рис. 2. Фазы взаимодействия поверхности раздела «жидкость-газ» с сетчатым разделителем:

а – полное погружение СФР в жидкость (1-я фаза); б – нормальное функционирование СФР (2-я фаза);

в – срыв работоспособности СФР в условиях частичного контакта с газом наддува (3-я фаза);

г – срыв работоспособности СФР в условиях полного контакта с газом наддува (4-я фаза);

1 – жидкость; 2 – направление движения жидкости; 3 – сетчатый разделитель фаз; 4 – положение части ПРФ, которая не контактирует с сетчатым разделителем; 5 – газ; 6 – положение части ПРФ, которая контактирует с сетчатым разделителем; 7 – направление действия капиллярной силы; 8 – газ, который прорвался через СФР; 9 – пленка жидкости, которая осталась на СФР; 10 – направление движения газа через СФР;

11, 12, 13, 14 – фиктивные границы; $\vec{a}_m$ – массовое ускорение; $\vec{V}_Q$ – средняя скорость жидкости

До момента контакта ПРФ с сетчатым разделителем, на первой фазе взаимодействия СФР с ПРФ, текущий перепад давлений на сетке $\Delta p_{сфр}$ будет определяться по уравнению [6]

$$\Delta p_{сфр} = \frac{\alpha_c \rho_{жс}}{2 f_c^2} V_{сфр}^2 + \frac{\beta_c \mu_{жс}}{2 f_c d_c} V_{сфр}, \quad (1)$$

где α_c , β_c – постоянные коэффициенты; $d_c = (2/\sqrt{\pi}) \cdot a_c^{nom}$ – гидравлический диаметр ячеек, м; a_c^{nom} – номинальная длина стороны ячейки, м; $V_{сфр} = V_Q / \eta$ – средняя скорость жидкости перед сеткой, м/с; $\eta = S_k / S_{сфр}$ – коэффициент погружения СФР в жидкость; S_k – площадь СФР, погруженная в жидкость, м²; f_c – коэффициент живого сечения СФР; $\mu_{жс}$ – динамический коэффициент вязкости

жидкости, кг/м/с; $\rho_{жс}$ – плотность жидкости, кг/м³.

При этом момент времени t_1 , до которого следует при расчете $\Delta p_{сфр}$ использовать формулу (1), определяется как

$$t_1 = t_0 + h_0 / V_Q. \quad (2)$$

Начиная с момента времени $t = t_1$, т.е. на второй фазе взаимодействия ПРФ с СФР, возникает контакт сетчатого экрана с газом наддува (рис. 2, б). Перепад давлений на СФР $\Delta p_{сфр}$, обусловленный прохождением через него жидкости, определяется зависимостью (1), в которой текущее значение коэффициента погружения СФР в жидкость

$$\eta(t) = \sqrt{1 - \frac{2ctg\alpha V_Q(t-t_1)}{p}}. \quad (3)$$

На ячейки СФР, которые контактируют с газовой фазой, действует гидростатический перепад давлений

$$\Delta p_z = (X_m - x_y) \rho_{ж} a_x, \quad (4)$$

где X_m – максимальная x -координата ПРФ, м; x_y – x -координата оси канала некоторой ячейки СФР, м; a_x – текущее значение проекции на ось ОХ вектора массового ускорения жидкости, м/с².

Момент времени t_2 , начиная с которого наступает прорыв газа через СФР, т. е. третья фаза взаимодействия, определяется из уравнения

$$t_2 = t_1 + \left(\frac{1}{V_Q} - \frac{V_Q}{V_2^2} \right) \frac{p \operatorname{tg} \alpha}{2}, \quad (5)$$

где V_2 – среднее значение скорости жидкости, протекающей через сетку, при которой наступает нарушение работоспособности СФР, м/с.

Значение скорости V_2 определяется из уравнения

$$V_2 = -A_c + \sqrt{A_c^2 + \frac{2f_c^2}{\alpha_c} \left(\frac{2\sqrt{\pi}\sigma_{ж}}{a_c^{\max} \rho_{ж}} - X_m a_x \right)}, \quad (6)$$

где $A_c = (\beta_c f_c v_c) / (2\alpha_c d_c)$.

Начиная с момента времени $t = t_2$, газ 5 прорывается через ячейки СФР 3 и в виде отдельных пузырей 8 поступает в «заневоленную» часть топливной емкости (рис. 2, в).

Реальные размеры сторон ячеек a_c отклоняются от номинального значения $a_c^{\text{ном}}$. Максимальная величина этого отклонения предусмотрена соответствующим ГОСТом [3]. Таким образом, реальные размеры ячеек на СФР находятся в промежутке $[a_c^{\min}, a_c^{\max}]$. Предположим, что известен закон распределения удельного количества ячеек n со стороной a_c в промежутке $[a_c^{\min}, a_c^{\max}]$. т.е. известна функция $n(a_c)$.

Прорыв газа через сетчатый экран начинается в ячейках с максимальным размером стороны $a_c^{\max}$. Предположим, что реальные размеры ячеек a_c с выбранным номинальным размером $a_c^{\text{ном}}$ изменяются дискретно от $a_c^{\max}$ до $a_c^{\min}$ с шагом Δa_c , т.е.

$$a_c^i = a_c^{\max} - (i-1)\Delta a_c, \quad (7)$$

где $\Delta a_c = \frac{a_c^{\max} - a_c^{\min}}{m-1}$; $i = 1 \div m$; m – априорно вы-

бранное, количество ступеней изменения размеров ячеек СФР.

Если текущий перепад давлений на СФР $\Delta p_{сфр}$, то минимальный размер ячеек a_c^i , начиная с которого через все ячейки с большими размерами сторон будет проходить газ, определяется из уравнения

$$a_c^i = (2\sqrt{\pi}\sigma_{ж}) / (\Delta p_{сфр}). \quad (8)$$

Процесс расчета текущего перепада давлений на третьей фазе взаимодействия начинается с момента наступления прорыва газа через СФР $t = t_2$. Значение текущего перепада давления $\Delta p_{сфр}$ на момент времени $t > t_2$ определяется при решении системы уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} V_Q &= \eta(t) V_{сфр} + \\ &+ (1 - \eta(t)) \sum_{i=1}^i n(a_c^i) (a_c^i)^2 V_2^i; \\ \eta(t) &= \eta(t_2) - \frac{\int_{t_2}^t V_{сфр}(t) dt}{p \operatorname{tg} \alpha}; \\ \Delta p_{сфр} &= \frac{\alpha_c \rho_{ж}}{2 f_c^2} V_{сфр}^2 + \frac{\beta_c \mu_{ж}}{2 f_c d_c} V_{сфр} = \\ &= \xi_2^1 \frac{\rho_2 (V_2^1)^2}{2} + 2\sigma_{ж} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3\tau_c^1}} = \dots = \\ &= \xi_2^{i^*} \frac{\rho_2 (V_2^{i^*})^2}{2} + 2\sigma_{ж} \sqrt[3]{\frac{4\pi}{3\tau_c^{i^*}}}, \end{aligned} \right. \quad (9)$$

где $\tau_c^i = \frac{4}{3\sqrt{\pi}} (a_c^i)^3 + (a_c^i)^2 \int_{t_2}^t V_2^i(t) dt$ – текущий объем

газа, прошедший на момент времени t через ячейки i -й группы, м³; $V_2^1, \dots, V_2^i, \dots, V_2^{i^*}$ – скорости движения газа в ячейках СФР 1-й, ..., i -й, ..., i^* групп ячеек со стороной a_c^i соответственно; $\xi_2^i = 1 + \lambda(l_c/d_c^i) + \xi' \times (1 + \sqrt{\xi'})$ – коэффициент гидросопротивления ячейки с гидравлическим диаметром d_c^i и длиной канала l_c [6]; $\lambda(\operatorname{Re}_2^i)$, $\xi'(\operatorname{Re}_2^i)$ – заданные таблично, функции от числа Рейнольдса Re_2^i газового потока [6]; $\operatorname{Re}_2^i = (V_2^i a_c^i \rho_2) / \mu_2$; ρ_2 – плотность газа, кг/м³; μ_2 – динамическая вязкость газа, кг/м/с; i^* – наиболь-

ший номер группы ячеек со стороны $a_c^{i^*}$, через которые происходит движение газа.

После решения системы уравнений (9) уточняется значение $a_c^{i^*}$ и, соответственно, i^* по уравнению (8). Если новое рассчитанное значение i^* совпадает со старым значением, то текущая потеря давления на СФР $\Delta p_{сфр}$ считается найденной. В противном случае повторно решается система уравнений (9) при новом значении i^* . Таким образом, текущий расчет потери давления на СФР $\Delta p_{сфр}$ на третьей фазе взаимодействия выполняется последовательными приближениями. На начальное значение i^* при решении системы (9) следует принять $i^* = 1$, что соответствует $a_c^{i^*} = a_c^{\max}$.

Третья фаза взаимодействия ПРФ с СФР заканчивается, когда движение жидкости через СФР прекращается ($\eta = 0$) (рис. 2, г). Система уравнений для расчета текущего перепада давлений $\Delta p_{сфр}$ на 4-й фазе взаимодействия будет иметь вид

$$\left\{ \begin{aligned} V_Q &= \sum_{i=1}^{i^{**}} n(a_c^i)(a_c^i)^2 V_c^i; \\ \Delta p_{сфр} &= \xi_2^1 \frac{\rho_z (V_c^1)^2}{2} + 2\sigma_{ж} 3 \sqrt{\frac{4\pi}{3\tau_c^1}} = \dots = \\ &= \xi_2^{i^{**}} \frac{\rho_z (V_c^{i^{**}})^2}{2} + 2\sigma_{ж} 3 \sqrt{\frac{4\pi}{3\tau_c^{i^{**}}}}, \end{aligned} \right. \quad (10)$$

где i^{**} – максимальное значение номера группы ячеек СФР, через которые происходит движение газовой фазы.

Определение номера группы i^{**} выполняется с помощью последовательных приближений, так же, как при определении i^* . За начальное приближения для i^{**} целесообразно взять значение индекса i^* , которое получено при решении системы уравнений (9), когда $\eta = 0$.

2. Результаты численных расчетов

С помощью представленной математической модели был разработан алгоритм и программа численного расчета. Основные результаты расчетов для

двух типов СФР приведены ниже. При расчетах использовались тканые сетки с квадратными ячейками полотняного типа плетения, основные геометрические характеристики которых приведены в табл. 1.

В качестве рабочей жидкости рассматривался несимметричный диметилгидразин, который имеет плотность $\rho_{ж} = 793 \text{ кг/м}^3$, динамическую вязкость $\mu_{ж} = 0,551 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$, коэффициент поверхностного натяжения $\sigma_{ж} = 0,0255 \text{ кг/с}^2$ при температуре 20°C [7]. В качестве газовой фазы рассматривался гелий с плотностью $\rho_z = 2,45 \text{ кг/м}^3$ и динамической вязкостью $\mu_z = 194,8 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ при давлении $p_z = 15 \text{ кг/см}^2$ и температуре $T_z = 20^\circ\text{C}$ [2].

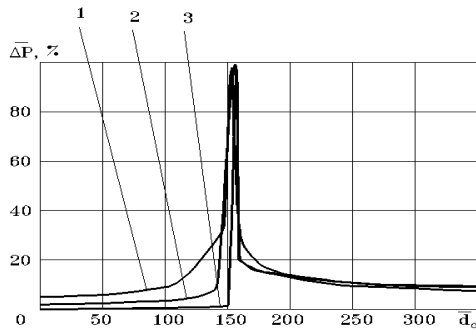
Таблица 1

Основные параметры сетчатых разделителей [3]

Параметр	Сетка № 1	Сетка № 2
Номинал. размер ячейки $a_c^{\text{ном}}$, мкм	40	80
Максимальный размер ячейки a_c^{max} , мкм	68	128
Предельно допустимое кол-во ячеек размером a_c^{max} , %	9	9
Общее кол-во ячеек на 1 см^2 , n	20240	5914
Коэффициент живого сечения, f_c	0,33	0,38
Коэффициенты гидросопротивления сетки α_c ; β_c [6]	0,51 ; 21,8	0,48 ; 21,8

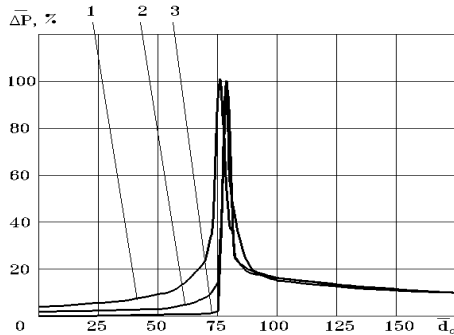
Было рассмотрено три значения средней скорости жидкости V_Q : 1 см/с ; 5 см/с и 10 см/с . Кроме того, рассмотрено три значения угла α : 1° , 3° и 6° . Модуль массового ускорения при проведении расчетов полагался равным $|\vec{a}_M| = 1 \text{ м/с}^2$. Основные линейные размеры имели следующие значения: $X_M = 1 \text{ м}$; $p = 0,24 \text{ м}$; $q = 0,02 \text{ м}$. Расчет начинался с момента контакта ПРФ с СФР, т.е. при $h_0 = 0 \text{ м}$ для $t = 0$. Число Бонда, определенное по характерному размеру p , $Bo_p \approx 1800$. Поэтому можно полагать, что ПРФ имеет нулевую кривизну [1].

Основные полученные результаты представлены в безразмерном виде на рис. 3.



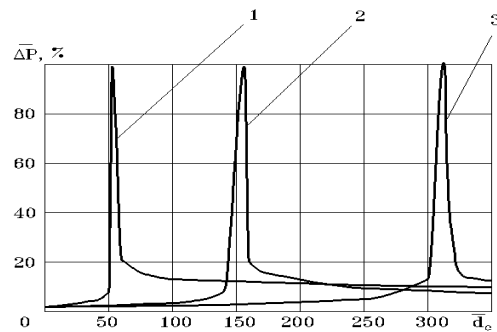
а – угол наклона поверхности раздела фаз $\alpha = 3^\circ$; номинальная длина стороны ячейки $a_c^{\text{nom}} = 40$ мкм;

- 1 – средняя скорость жидкости $V_Q = 10$ см/с;
- 2 – средняя скорость жидкости $V_Q = 5$ см/с;
- 3 – средняя скорость жидкости $V_Q = 1$ см/с



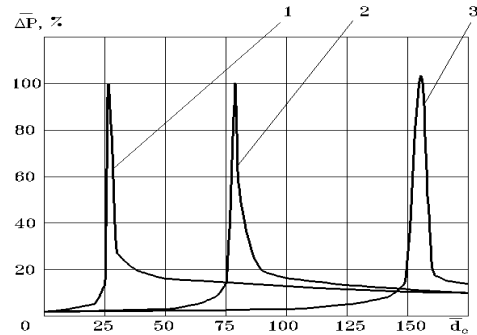
б – средняя скорость жидкости $V_Q = 5$ см/с; номинальная длина стороны ячейки $a_c^{\text{nom}} = 40$ мкм;

- 1 – угол наклона ПРФ к сетке $\alpha = 1^\circ$;
- 2 – угол наклона ПРФ к сетке $\alpha = 3^\circ$;
- 3 – угол наклона ПРФ к сетке $\alpha = 6^\circ$



в – угол наклона поверхности раздела фаз $\alpha = 3^\circ$; номинальная длина стороны ячейки $a_c^{\text{nom}} = 80$ мкм

- 1 – средняя скорость жидкости $V_Q = 10$ см/с;
- 2 – средняя скорость жидкости $V_Q = 5$ см/с;
- 3 – средняя скорость жидкости $V_Q = 1$ см/с



г) средняя скорость жидкости $V_Q = 5$ см/с; номинальная длина стороны ячейки $a_c^{\text{nom}} = 80$ мкм

- 1 – угол наклона ПРФ к сетке $\alpha = 1^\circ$;
- 2 – угол наклона ПРФ к сетке $\alpha = 3^\circ$;
- 3 – угол наклона ПРФ к сетке $\alpha = 6^\circ$

Рис. 3. Зависимость текущего перепада давлений на сетчатом разделителе фаз $\bar{\Delta p}$ от относительного смещения жидкости $\bar{d}_c$

Практически на всех представленных графиках наблюдается скачкообразный рост относительного перепада давлений $\bar{\Delta p} = (a_c^{\text{max}} \Delta p_{\text{сфр}}) / (a_c^{\text{max}} \Delta p_{\text{сфр}})$ до уровня удерживающей способности данного типа СФР при определенном значении относительного смещения сливаемой жидкости

$$\bar{d}_c = V_Q t / a_c^{\text{nom}}. \quad (11)$$

При снижении коэффициента погружения СФР в жидкость η до некоторого критического уровня $\bar{\Delta p}$ скачком достигает значения 100% и происходит прорыв газовой фазы. Далее перепад давлений снижается до значения, при котором через сетку прекращается движение жидкости ($\eta = 0$). Это снижение $\bar{\Delta p}$ соответствует третьей фазе взаимодействия, во время которой через сетку одновременно прохо-

дит газовая и жидкая фазы.

На представленных графиках четвертая фаза взаимодействия соответствует медленному снижению $\bar{\Delta p}$ к некоторому предельному, стационарному значению.

Указанный характер зависимости $\bar{\Delta p}$ от $\bar{d}_c$ был установлен для СФР с номинальными размерами сторон ячеек 40 и 80 мкм. Влияние средней скорости движения жидкости V_Q в диапазоне изменения от 1 до 10 см/с существенно только на второй фазе взаимодействия.

Увеличение скорости движения жидкости V_Q приводит к более плавному росту перепада давления $\bar{\Delta p}$ в конце этой фазы. Этого следует ожидать, поскольку величина действующего перепада давлений на СФР в данном случае определяется главным образом скоростью движения жидкости $V_{\text{сфр}}$, прохо-

дущей через сетку, и текущим значением коэффициента погружения η , которое также косвенно зависит от скорости $V_{сфр}$. Увеличение угла α от 1° до 6° приводит к смещению момента наступления третьей фазы, в сторону увеличения соответствующего значения $\bar{d}_c$. Так для СФР № 1 при значении угла $\alpha = 1^\circ$ значение $\Delta\bar{p}_{\max}$ достигается при $\bar{d}_c = 52$, а при значении угла $\alpha = 6^\circ$ значение $\Delta\bar{p}_{\max}$ достигается при $\bar{d}_c = 313$ (рис. 3, б).

Указанная зависимость является также прогнозируемой. В проводившихся расчетах начальное значение коэффициента погружения $\eta = 1$. Увеличение угла α приводит к уменьшению скорости снижения параметра η . При этом значение абсциссы $\bar{d}_c$, при котором наступает фаза прорыва газа через СФР, должно также увеличиваться.

На рис. 3, г можно увидеть, что при угле наклона $\alpha = 6^\circ$ действующий перепад давлений $\Delta\bar{p}$ при определенных значениях $\bar{d}_c$ превосходит уровень удерживающей способности данного типа СФР (кривая 3). Расчеты показывают, что такие сверхкритические значения перепадов давления $\Delta\bar{p}$ возникают сразу после прорыва газа через сетку. Несмотря на то, что капиллярный перепад на СФР после достижения максимального значения начинает снижаться, возникает дополнительный перепад давлений за счет прохождения через ячейки сетки газовой фазы. В итоге суммарные потери давления на СФР некоторое время после прорыва газа могут превосходить уровень его удерживающей способности.

Заключение

Таким образом, представленная выше математическая модель процесса проникновения газовой фазы через сетчатый разделитель фаз позволяет численно рассчитать потери давления на сетчатом разделителе на любой фазе прорыва газа. Однако, при построении математической модели использовался ряд существенных упрощающих предположений.

Поэтому достоверность полученных результатов численных расчетов может быть подтверждена лишь путем физического эксперимента.

Литература

1. Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов / В.В. Багров, А.В. Курпатенков, В.М. Поляев, А.Л. Синцов, В.Ф. Сухоставец. – М.: УНПЦ «Энергомаш», 1997. – 328 с.
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
3. ГОСТ 6613-73. Сетки проволоочные тканые с квадратными ячейками нормальной точности. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 17 с.
4. Давыдов С.А. Численный расчет взаимодействия свободной поверхности жидкости с сетчатой разделительной перегородкой // Математическое моделирование в механике жидкости и газа: Сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДГУ, 1992. – С. 72-77.
5. Gluck D.F. Propellant position control by capillary barriers during spacecraft rotational maneuvers. – AIAA paper (№ 529), 1969. – 8 p.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
7. Abramson H.N. The dynamic behavior of liquids in moving containers with applications to space vehicle technology. – NASA SP-106, 1966. – 384 p.

Поступила в редакцию 7.04.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.С. Макарова, Днепропетровский национальный университет, Днепропетровск.