

УДК 629.7.014.18

С.О. Давидов

Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, Дніпропетровськ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ УТРИМУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ СІТЧАСТИХ РОЗДІЛЮВАЧІВ ФАЗ

У роботі представлено результати експериментальних досліджень по визначенню динамічної утримуючої здатності засобів забезпечення суцільності палива сітчастого типу. Пропонується напівемпірична залежність для визначення цього проектного параметра при проведенні інженерних розрахунків.

Ключові слова: літальні апарати, ракетне паливо, сітчасті розділювачі фаз, експериментальні дослідження.

Вступ

Для забезпечення повторного запуску двигуна космічного літального апарата необхідні засоби забезпечення суцільності (ЗЗС) палива, що виключають проникнення газу наддуву з бака в зливну магістраль. В останні кілька десятиліть у якості ЗЗС широко використовуються капілярні розділювачі фаз на основі тканих металевих сіток [5]. Так звані сітчасті розділювачі фаз (СРФ) мають ряд істотних переваг перед всіма іншими ЗЗС палива. Насамперед, це здатність до тривалого функціонування в умовах практичної невагомості при дії різноспрямованих зовнішніх силових імпульсів. Форма і геометричні розміри бака літального апарата можуть змінюватися в широкому діапазоні. Немає також обмежень на кількість запусків двигуна. Тому в даний час СРФ є найбільш перспективними ЗЗС палива для космічних літальних апаратів багатопільового призначення.

Постановка проблеми. Розробка нових літальних апаратів висуває усе більш жорсткі вимоги до працездатності системи подачі палива в змінному полі масових сил, одним з головних елементів якої є ЗЗС палива. Необхідне всебічне експериментальне відпрацювання ЗЗС в умовах, що моделюють рух космічного літального апарата по пасивній ділянці траєкторії. Основні проектні параметри ЗЗС палива повинні визначатися на початковому етапі розробки конструкції. До таких параметрів відносяться статична і динамічна утримуюча здібності СРФ [4].

Під статичною утримуючою здатністю (СУЗ) СРФ розуміється капілярний перепад тиску на СРФ, при якому відбувається прорив газової фази через його чарунки. Величина СУЗ СРФ визначається розміром і формою чарунків, а також коефіцієнтами поверхневого натягу фаз, що контактують. Величина СУЗ досить просто визначається експериментальним шляхом [4].

Під динамічною утримуючою здатністю (ДУЗ) СРФ розуміється максимально можлива робота, що здатний зробити СРФ одиничної площі по гальмуванню потоку палива, що переміщує газову фазу

через чарунки СРФ. Цей проектний параметр відображує демпфуючі здібності сітчастих ЗЗС. Коли космічний літальний апарат рухається по пасивній ділянці траєкторії під впливом різноспрямованих силових імпульсів відбувається переорієнтація палива в баках, що може привести до прориву газу наддуву через СРФ навіть за умови, що в момент контакту поверхні розподілу фаз з СРФ відсутні зовнішні силові впливи на літальний апарат. Визначити величину ДУЗ СРФ значно складніше в порівнянні з його СУЗ. В той же час, достовірне визначення границь працездатності ЗЗС сітчастого типу вимагає інформації про значення ДУЗ СРФ, що використовується.

Метою роботи є експериментальне визначення величини ДУЗ СРФ і одержання, на основі результатів експериментів, залежності величини ДУЗ від параметрів СРФ і фізичних властивостей рідини.

Основний розділ

1. Описання експериментальної установки

Експерименти проводилися на установці, схема якої наведена на рис. 1. Основним елементом установки є U-образний канал 1, виготовлений з оргскла з прямокутним внутрішнім перетином 20мм·40мм. У лівій частині каналу, що вільно з'єднується з атмосферою, установлена рамка зі зразком СРФ 10, який досліджується. У нижній частині U-образного каналу знаходиться зливний отвір 6, через який він заповнюється до рівня СРФ модельною рідиною 5. Рівень рідини при початковому заповненні контролюється спеціальними вимірниками рівня рідини 11. Права частина каналу поєднується з атмосферою через електроклапан 4. За допомогою поршня 2 при закритому клапані 4 створюється початковий перепад рівнів рідини в каналі. При відкритті клапана 4 рідина починає рухатись. Процес руху рідини фіксується на плівку кінокамерою 9. Для поліпшення якості зйомки використовується блок освітлення 3. Реєстрація моменту відкриття електроклапану і частоти кадрів зйомки здійснюється осцилографом 7. Відкриття електроклапана 4, включення кінокамери 9 і

осцилографу 7, а також їхнє наступне вимикання здійснюється блоком керування 8.

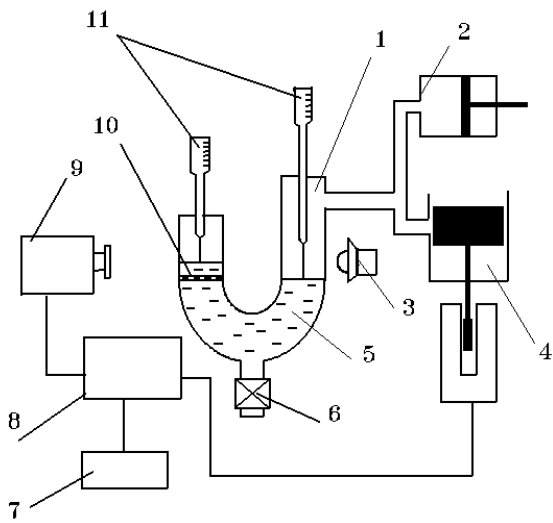


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 – U-образний канал; 2 – поршневий насос; 3 – блок освітлення; 4 – електроклапан; 5 – модельна рідина; 6 – зливний отвір; 7 – осцилограф; 8 – блок керування; 9 – кінокамера; 10 – сітчастий розподільник фаз; 11 – засоби виміру рівнів модельної рідини

2. Методика проведення експериментів

Методика проведення експериментів полягає у наступному. Після установки зразка СРФ, що досліджується, у U-образний канал заповнюється модельною рідиною до рівня СРФ. При цьому СРФ цілком занурений у рідину. Потім клапан 4, який спочатку відкритий, закривається. За допомогою поршня 2 над поверхнею рідини в правій частині каналу створюється надлишковий тиск. Цей тиск викликає перепад рівнів рідини в правій і лівій частинах U-образного каналу. Значення створеного перепаду рівнів визначається за допомогою вимірників 11. Далі по команді з блоку керування 8 відбувається протягання стрічки осцилографу, включення кінокамери і відкриття клапану 4. Рідина починає рухатися з визначеною швидкістю, що залежить від вихідного перепаду рівнів, відбувається зіткнення вільної поверхні рідини із СРФ. У залежності від величини ДУЗ СРФ та кінетичної енергії стовпа рідини буде спостерігатися прорив газової фази скрізь чарунки СРФ. Шляхом зміни початкового перепаду рівнів рідини в лівій і правій частинах каналу можна визначити критичне значення швидкості підходу вільної поверхні рідини до СРФ при якій настає прорив газової фази. У цьому випадку кінетична енергія рідкого стовпа, що рухається, дорівнює ДУЗ СРФ. Швидкість підходу вільної поверхні до СРФ визначається за допомогою кінозйомки шляхом чисельного диференціювання. З метою підвищення точності визначення швидкості руху вільної поверхні зйомка проводиться через мікроскоп типу МПБ-

2 з 24-х кратним збільшенням. Мікроскоп має вимірну шкалу з рисками через кожні 50 мікрон загальною довжиною 6 мм. При визначенні кінетичної енергії стовпа рідини передбачалося, що всі частки рідкого об'єму рухаються з однаковою швидкістю, що дорівнює швидкості вільної поверхні. Тоді загальна кінетична енергія рідини дорівнює половині добутку маси рідини на квадрат швидкості вільної поверхні.

3. Результати досліджень

Експерименти по визначенню ДУЗ проводилися на трьох типах СРФ, основні геометричні характеристики яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні геометричні характеристики типів СРФ, що досліджуються [2]

№ СРФ	Діаметр проволочки d_p , мкм	Розмір сторони чарунки a , мкм	Тип плетіння
1	30	40	полотно
2	50	71	полотно
3	100	160	полотно

У якості модельних рідин при проведенні експериментів використовувалися гептан, фреон-113 і бензин, фізичні характеристики яких наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Фізичні характеристики модельних рідин [1]

Рідина	Щільність ρ , кг/м ³	Поверх. натяг σ , кг/с ² $\cdot 10^{-3}$	Кін. в'язкість ν , м ² /с $\cdot 10^{-6}$
Гептан	683,6	20,86	0,606
Фреон-113	1575,0	19,38	0,468
Бензин Б-70	712,0	22,60	0,584

Результати експериментів по визначенню ДУЗ СРФ наведені в табл. 3 і на рис. 2.

Таблиця 3

Результати експериментального визначення ДУЗ СРФ A , кг/с²

Рідина	№ СРФ		
	1	2	3
Гептан	0,146	0,115	0,52
Фреон-113	0,090	0,490	0,33
Бензин Б-70	0,105	0,087	0,031

Використовуючи метод показників Релея [3], представимо отримані експериментальні дані в узагальненому вигляді. Припустимо, що величина ДУЗ СРФ A є функцією розміру сторони чарунки СРФ a і фізичних властивостей модельної рідини μ , ρ , і σ . Тоді

$$A = f(\sigma, \rho, \mu, a), \quad (1)$$

або

$$A = C \sigma^\alpha \rho^\beta \mu^\gamma a^\chi, \quad (2)$$

де $C, \alpha, \beta, \gamma, \chi$ – деякі константи.

З рівняння (2) шляхом аналізу розмірностей, що входять у нього величин, випливає

$$\bar{A}_\sigma = C C a^\beta, \quad (3)$$

де $\bar{A}_\sigma = \frac{A}{\sigma}$ – величина ДУЗ СРФ у безрозмірному

вигляді; $Ca = \frac{\sigma a}{\rho v^2}$ – капілярне число.

Обробка експериментальних даних по методу найменших квадратів дозволяє визначити, що в (3) $\beta = -0,76$ і $C = 2500$.

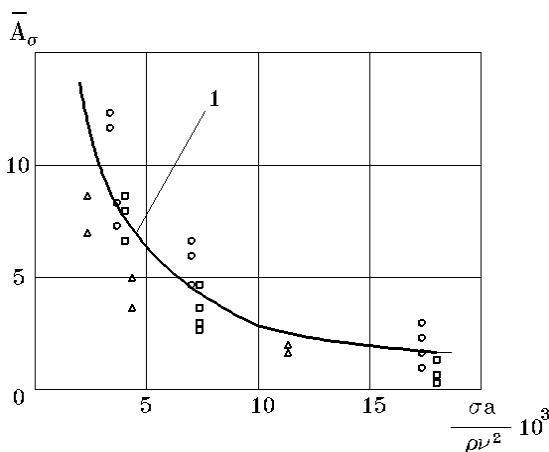


Рис. 2. Залежність ДУЗ $\bar{A}_\sigma = \frac{A}{\sigma}$ від фізичних

властивостей рідини і геометрії СРФ:

1 – апроксимуюча крива; Δ – фреон-113;

\square – бензин Б-70; \circ – гептан

Експериментальні дані табл. 3 та апроксимуюча крива (3), при зазначених вище значеннях β і C , представлені на рис. 2. З рисунку видно, що ДУЗ СРФ може бути розрахована за допомогою залежності (3) із прийнятною для інженерної практики точ-

ністю для СРФ полотняного типу плетіння, сторона чарунок яких змінюється в межах від 40 до 160 мікронів, а капілярне число Ca знаходиться в межах від 2000 до 18000.

Висновки

Методика проведення експериментів по визначенню ДУЗ, що наведена вище, може використовуватися для визначення цього проектного параметра СРФ, які мають не тільки полотняний тип плетіння. Зокрема, за допомогою експериментальної установки, що описана вище, можна оцінювати ДУЗ СРФ фільтрового типу плетіння, що у даний час широко використовуються в конструкціях ЗЗС палива. Однак, для створення необхідної для прориву газу через чарунки СРФ кінетичної енергії стовпа рідини над вільною поверхнею в лівій частині U-образного каналу варто створити надлишковий тиск.

Список літератури

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
2. Государственный стандарт. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками нормальной точности. ГОСТ 6613–73. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 17 с.
3. Шарп Дж. Гидравлическое моделирование / Шарп Дж.; пер. с англ. Л.А. Яскина. – М.: Мир, 1984. – 280 с.
4. Rollins J.R. 23 years of surface tension propellant management system design, development, manufacture, test and operation // AIAA Paper. – 1986. - №.86-833. – 9 p.
5. Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов / В.В. Багров, А.В. Курпатенков, В.М. Поляев и др.; под. ред. В.М. Поляева. – М.: УНПЦ «ЭНЕРГОМАШ», 1997. – 328 с.

Надійшла до редколегії 16.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.С. Макарова, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЧАТЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ ФАЗ

С.А. Давыдов

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению динамической удерживающей способности средств обеспечения сплошности топлива сетчатого типа. Предлагается полумпирическая зависимость для определения этого проектного параметра при проведении инженерных расчетов

Ключевые слова: летательные аппараты, ракетное топливо, сетчатые разделители фаз, экспериментальные исследования.

EXPERIMENTAL DEFINITION OF DYNAMIC RETENTION OF MESH PHASES DELIMITER

S.O. Davydov

The results of experimental investigation by definition of dynamic retention of maintenance fuel continuity delimiters of mesh type have been presented in given work. Semi empirical dependence for such designed parameter was offered during engineering calculations.

Keywords: aircrafts, rocket fuel, reticulated delimiters of phases, experimental researches.