

Изменение красителя на МС подтверждает универсальность нанопорошка S-TiO<sub>2</sub> и гелей на его основе. Аналогично окончание фотокаталитической реакции разложения МС подтверждено полным обесцвечением образцов (рис. 5).

#### 4. Выводы

Показано что, наноразмерный S-TiO<sub>2</sub>, включенный в гелеобразную матрицу, проявляет высокие фотокаталитические свойства в процессах разложения органических красителей, поскольку модификация серой обеспечила его сенсбилизацию в видимый диапазон спектра. Дополнительно, использование S-TiO<sub>2</sub> в сочетании с H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> дает возможность генерировать высокоэффективные радикалы OH\* для прохождения полного окисления вредных веществ и существенно уменьшить время полреакции, являющейся важной характеристикой для широкого практического применения нанофотокатализатора.

*У роботі представлена інженерна методика розрахунку динамічної утримуючий здатності сітчастих роздільників фаз, що дозволяє на етапі ескізного проектування визначити працездатність засобів забезпечення суцільності палива в динамічних умовах*

*Ключові слова: літальний апарат, паливо, роздільники фаз, сітка*

*В работе представлена инженерная методика расчета динамической удерживающей способности сетчатых разделителей фаз, которая позволяет на этапе эскизного проектирования определить работоспособность средств обеспечения сплошности топлива в динамических условиях*

*Ключевые слова: летательный аппарат, топливо, разделители фаз, сетка*

*In given work the engineering design procedure of dynamic retention of mesh phase's delimiters is presented. This allows to determine functionability of means fuel continuity support in dynamic conditions at a stage of outline designing*

*Key words: spacecraft, fuel, phase's delimiter, mesh*

#### 1. Вступление

При движении летательного аппарата (ЛА) по пассивному участку траектории жидкое ракетное топли-

#### 5. Литература

1. Ханик Я.М. Кінетика конвективного та конвективно-кондуктивно сушіння метатитанової кислоти (МТК) / Я.М. Ханик, О.В. Станіславчук, В.П. Дулеба // Наук. вісник Укр. ДЛТУ – 2006. – 16.5. – С. 107-114.
2. Wills R.W. Synergism between porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) and salmonella choleraesuis in swine / R. W. Wills, J. T. Gray, P. J. Fedorka-Cray, K. J. Yoon, S. Ladely and J. J. Zimmerman, J. // Vet. Med. Sci. – 2000. – 71. – P. 177-192.
3. Cai R. Induction of Cytotoxicity by Photoexcited TiO<sub>2</sub> Particles / R. Cai, Y. Kubota, T. Shuin, H. Sakai, K. Hashimoto and A. Fujishima. // Cancer Research – 1992. – 52. – P. 2346-2348.
4. Liu Y. Characterization of metal doped-titanium dioxide and behaviors on photocatalytic oxidation of nitrogen oxides / Y. Liu, H.Q. Wang, Z.B. Wu // J Environ Sci – 2007. – № 19 (12) – P. 1505-1509.

УДК 629.7.014.18

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЧАТЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ ФАЗ

**С. А. Давыдов**

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой

Кафедра проектирования и конструкций  
Днепропетровский национальный университет  
имени Олеса Гончара

пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010  
Контактный тел. : 099-381-48-19  
E-mail.: gorelova-kristi@mail.ru

во находится в условиях действия переменного поля массовых сил и неизбежно перемешивается с газовой фазой. Для успешного повторного запуска двигателей ЛА необходимо исключить поступление газа наддува

в сливную магистраль. Данная проблема в настоящее время наиболее успешно решается с помощью сетчатых средств обеспечения сплошности топлива [6], главным рабочим элементом которых является тканая металлическая сетка с ячейками микронных размеров [2] - т. н. сетчатый разделитель фаз (СРФ).

## 2. Формулирование проблемы

Одним из основных проектных параметров, который необходимо учитывать на этапе эскизного проектирования перспективных ЛА при выборе сетчатого материала для СРФ, является динамическая удерживающая способность (ДУС). При этом в ряде работ [4,7] под ДУС понимается значение статической удерживающей способности СРФ в динамических условиях работы. Однако, статическая удерживающая способность СРФ связана с действующим перепадом давлений на сетчатой поверхности вследствие внешних силовых воздействий на ЛА. В тоже время при инерционных плесканиях топлива в баках ЛА внешние силовые воздействия могут отсутствовать, а прорыв газовой фазы через ячейки СРФ произойдет. В данной работе, как и в [3], под ДУС понимается способность СРФ препятствовать прорыву газовой фазы через ячейки СРФ в условиях инерционного движения жидкости. Рассмотрим этот процесс более подробно.

На этапе движения ЛА по пассивному участку траектории возможна ситуация, когда ЛА испытывает кратковременное внешнее силовое воздействие, в результате которого под влиянием массового ускорения  $\vec{a}$  происходит переориентация топлива 4 (рис. 1) в направлении, указанном стрелками 5. Газовая фаза 2 при этом перемещается вместе с топливом и проходя ряд последовательных промежуточных положений 6, 7, 8 сталкивается с поверхностью СРФ 3. При достаточно высокой кинетической энергии потока может произойти прорыв газа через ячейки СРФ.

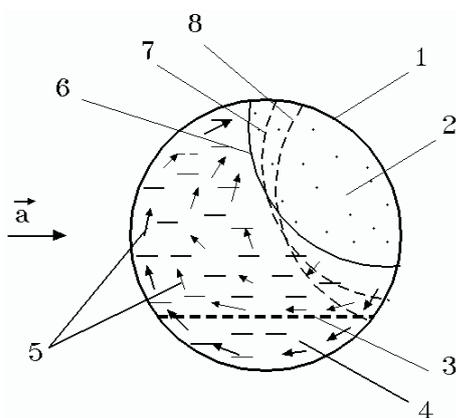


Рис. 1. Переориентация топлива в баке летательного аппарата под действие ускорения  $\vec{a}$ : 1 – стенка бака; 2 – газовая фаза; 3 – СРФ; 4 – топливо; 5 – направление движения топлива при переориентации; 6, 7, 8 – различные положения свободной поверхности при переориентации топлива

Поскольку прорыву газа через СРФ препятствуют капиллярные и вязкие силы, то под ДУС понимается

максимальная удельная работа  $A_{\text{дус}}$ , капиллярных и вязких сил, которую они способны совершить на поверхности СРФ единичной площади до момента прорыва газа. Очевидно, что для успешного функционирования сетчатых средств обеспечения сплошности необходимо, чтобы на протяжении всего полета ЛА кинетическая энергия инерционных плесканий топлива в баках не превосходила ДУС СРФ.

Целью настоящей работы является разработка инженерной методики априорного определения ДУС СРФ, которая позволит минимизировать объем соответствующей экспериментальной отработки и тем самым существенно снизить материальные затраты на разработку всего ЛА. В [3] предлагается методика численного расчета ДУС, которая основана на замене реального СРФ перфорированным аналогом. Однако в этой работе не учитывается неравномерность размеров ячеек реального СРФ. В тоже время, для любого тканого сетчатого материала размеры ячеек изменяются в определенном интервале, зависящем от качества изготовления [1,2]. Например, для тканой сетки с квадратными ячейками номинальным размером 40 микрон возможно существование ячеек с длиной стороны до 61 микрон. Допустимое по ГОСТу количество ячеек с такими размерами может быть до 5% от их общего количества [1].

В предлагаемой ниже методике расчета учитывается данный фактор, существенно влияющий на величину ДУС СРФ. В тоже время методика существенно упрощена за счет учета влияния на величину ДУС только капиллярных сил. Согласно расчетам [3] для СРФ полотняного типа плетения с ячейками размером от 40 до 160 микрон работа, совершаемая вязкими силами по предотвращению прорыва газа через СРФ, не превосходит 5% от общей величины ДУС. Поэтому без существенного снижения точности расчетов можно не учитывать влияния сил вязкости на величину ДУС для СРФ полотняного типа плетения.

## 3. Исходные данные и этапы расчета

Исходными данными для расчета ДУС являются:  
- поверхностное натяжение  $\sigma$  топлива при заданной температуре;

- номинальный размер стороны ячейки СРФ  $a_c^{\text{nom}}$ ;
- диаметр проволоки плетения СРФ  $d_c$ .

Процесс расчета состоит из следующих этапов.

1. В соответствии с ГОСТом на материал для СРФ определяется возможный диапазон изменения размеров ячеек  $[a_c^{\text{min}}, a_c^{\text{max}}]$  и их общее количество на единице площади  $N$  [1]. На основании предположения о нормальности закона распределения количества ячеек по размерам стороны относительно номинального значения  $a_c^{\text{nom}}$ , имеет следующую зависимость [5]:

$$N(a_c) = N(a_c^{\text{nom}}) e^{-\eta^2(a_c - a_c^{\text{nom}})^2}, \quad (1)$$

где  $a_c \in [a_c^{\text{min}}, a_c^{\text{max}}]$  – длина стороны ячейки из заданного диапазона изменения,  $m$ ;  $N(a_c)$  – общее количество ячеек с длиной стороны  $a_c$  на участке СРФ единичной площади;  $N(a_c)$  – общее количе-

ство ячеек с длиной стороны  $a_c^{nom}$  на участке СРФ единичной площади;  $\eta$  – модуль нормального распределения,  $m^{-1}$ .

Модуль нормального распределения  $\eta$ , а также общее количество ячеек с длиной стороны  $a_c^{nom}$  на участке СРФ единичной площади  $N(a_c)$  могут быть найдены из соответствующих ГОСТов на сетчатый материал для СРФ и из таблицы значений интеграла вероятности для закона нормального распределения [5].

Непрерывное изменение размера стороны ячеек от  $a_c^{min}$  до  $a_c^{max}$  заменяется дискретным. Предполагается, что размеры ячеек  $a_c$  изменяются дискретно от  $a_c^{max}$  до  $a_c^{min}$  с шагом  $\Delta a_c$ , т. е.

$$a_c^i = a_c^{max} - (i-1)\Delta a_c, \quad (2)$$

где  $\Delta a_c = \frac{a_c^{max} - a_c^{min}}{M-1}$ ;  $i=1 \div M$ ;  $M$  – априорно выбранное количество шагов изменения размера ячейки СРФ.

Дискретность изменения стороны ячеек  $\Delta a_c$ , т. е. величина  $M$ , определяется требованиями к точности расчета. Общее число ячеек некоторого  $i$ -того класса  $N_i$  на СРФ единичной площади определяется по уравнению (1) кроме значения  $N_M$ . Величина  $NM$  определяется по данным ГОСТ на выбранный тип СРФ [1]. Величина максимальной стороны ячеек до  $a_c^{max}$  может определяться по соответствующему ГОСТу на сетку, либо экспериментальным путем например с помощью «пузырькового» метода [4], который определяет статическую удерживающую способность данного СРФ, а по ней из уравнения Лапласа капиллярный радиус ячеек с максимальной длиной стороны.

При расчете значений  $N_i$  должно выполняться следующее условие

$$N = \sum_{i=1}^M N_i. \quad (3)$$

2. Расчет геометрических параметров перфорированного аналога тканого СРФ. Предполагается, что аналог СРФ представляет собой перфорированную пластину с круглыми отверстиями радиусом  $r_c^i$  и толщиной  $l_c$ , которые определяются следующими зависимостями

$$r_c^i = \sqrt{2}a_c^i, \quad l_c = 2d_c. \quad (4)$$

3. Расчет удельной работы, совершаемой капиллярными силами на ячейках СРФ с максимальным радиусом  $r_c^{max}$ . В момент контакта свободной поверхности с СРФ она является плоской. По мере поступления газовой фазы 2 в ячейки СРФ 3 кривизна свободной поверхности начинает расти (рис. 2). Расчет соответственно и капиллярный перепад давления  $\Delta p_c$  на свободной поверхности в соответствии с уравнением Лапласа [4]. При этом кривизна свободной поверхности в ячейках различного радиуса является одинаковой в каждый текущий момент процесса взаимодействия.

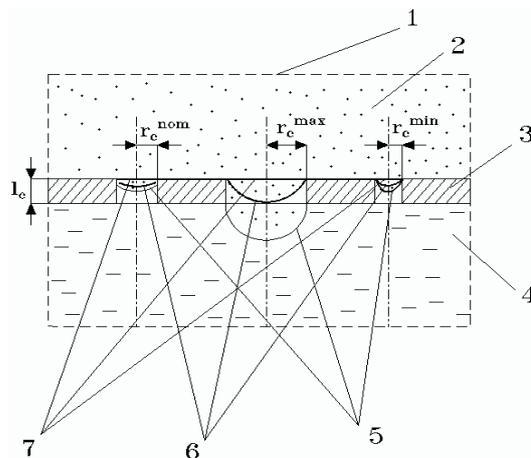


Рис. 2. Схема процесса взаимодействия свободной поверхности топлива с перфорированным аналогом сетчатого разделителя фаз: 1 – фиктивная граница; 2 – газовая фаза; 3 – перфорированный аналог СРФ; 4 – топливо; 5,6,7 – различные положения свободной поверхности при ее движении в ячейках СРФ;  $l_c$  – толщина перфорированного аналога СРФ;  $r_c^{nom}$  – приведенный радиус ячеек с номинальной длиной стороны;  $r_c^{max}$  – приведенный радиус ячеек с максимальной длиной стороны;  $r_c^{min}$  – приведенный радиус ячеек с минимальной длиной стороны

На рис. 2 приведены ячейки с тремя различными приведенными радиусами:  $r_c^{max}$ ,  $r_c^{nom}$ ,  $r_c^{min}$ . На рисунке также показаны три различные фазы взаимодействия свободной поверхности с СРФ: начальная (свободная поверхность плоская), промежуточная и конечная (свободная поверхность в ячейках с приведенным радиусом  $r_c^{max}$  имеет радиус кривизны  $R=r_c^{max}$ ). Предполагается, что дальнейшее проникновение газовой фазы в ячейки СРФ максимального приведенного радиуса приводит к прорыву газовой фазы через сетчатую поверхность и нарушению удерживающей способности СРФ.

Из сказанного выше следует, что удельная работа капиллярных сил, совершаемая до момента прорыва газа через СРФ на ячейках с приведенным радиусом  $r_c^{max}$ , определяется по формуле

$$A_\sigma^M = \pi r_c^M (2l_c + r_c^M) \sigma N_M, \quad (5)$$

где  $r_c^M = r_c^{max}$  – приведенный радиус ячеек с максимальной длиной стороны,  $m$ ;  $N_M$  – количество ячеек с приведенным радиусом  $r_c^{max}$  на СРФ единичной площади  $A_\sigma^M = \pi r_c^M (2l_c + r_c^M) \sigma N_M$ .

4. Расчет ДУС СФР, выбранного типа. Расчет ДУС СРФ определяется из условия, что на момент прорыва газовой фазы радиус кривизны свободной поверхности в ячейках СРФ с меньшим приведенным радиусом, чем  $r_c^{max}$ , будет одинаковой и равной  $r_c^{max}$ . Тогда удельная работа капиллярных сил по предотвращению прорыва газа на ячейках с приведенным радиусом  $r_c^i$  будет равна

$$A_\sigma^i = 2\pi(r_c^M (r_c^M - \sqrt{(r_c^M)^2 - (r_c^i)^2}) - (r_c^i)^2) \sigma N_i. \quad (6)$$

Проводя суммирование по всем дискретным размерам ячеек, окончательно получаем

$$A_{\sigma} = \pi \sigma (r_c^M)^2 \left( \sum_{i=1}^{M-1} (2(1 - \sqrt{1 - (\bar{r}_c^i)^2}) - (\bar{r}_c^i)^2) N_i + (2\bar{l}_c + 1) N_M \right), \quad (7)$$

$$\text{где } \bar{r}_c^i = \frac{r_c^i}{r_c^M}; \quad \bar{l}_c = \frac{l_c}{r_c^M}.$$

Величина  $A_{\sigma}$ , полученная в (7), эквивалентна ДУС СРФ. Однако при расчетах  $A_{\sigma}$  предполагалось, что прорыв газа через СРФ наступает при достижении минимального радиуса кривизны свободной поверхности в ячейках с приведенным радиусом  $r_c^{\max}$ . В реальной ситуации должен наблюдаться дальнейший рост радиуса кривизны и соответствующее увеличение площади свободной поверхности с обратной стороны СРФ. Только при достижении определенной критической величины радиуса кривизны  $R^*$ , который превосходит  $r_c^{\max}$ , произойдет отрыв газового пузыря от поверхно-

сти СРФ. Величина  $R^*$  зависит от динамических условий в топливе вблизи пузыря и трудно прогнозируема [7]. Поэтому значение  $A_{\sigma}$ , определяемое по данной методике, будет давать заниженную оценку величины ДУС СРФ, что вполне приемлемо для инженерной практики.

---

#### 4. Заключение

---

В заключение необходимо отметить, что приведенная методика может быть использована для СРФ полотняного типа плетения с квадратными ячейками с длиной стороны более 40 микрон. Использование в качестве сетчатого материала для СРФ тканых сеток фильтрового типа плетения [2] требует учета при определении ДУС СРФ вязких сил. Приведенная выше методика расчета, которая не учитывает влияние сил вязкости, будет существенно снижать величину ДУС СРФ фильтрового типа плетения.

---

#### Литература

1. Государственный стандарт. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками нормальной точности. ГОСТ 6613-73. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 17 с.
2. Государственный стандарт. Сетки проволочные тканые фильтровые: ГОСТ 3187-76. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 15 с.
3. Давыдов С.А. Численный расчет взаимодействия свободной поверхности жидкости с сетчатой разделительной перегородкой / С.А. Давыдов // Сб. научн. тр. «Математическое моделирование в механике жидкости и газа». – Д., ДГУ, 1992. – С. 72 – 77.
4. Капиллярные системы отбора жидкости из баков космических летательных аппаратов / Багров В.В., Курпатенков А.В., Поляев В.М. и др.; под. ред. В.М. Поляева. – М.: УНПЦ «ЭНЕРГОМАШ», 1997. – 328 с.
5. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Шенк Х.; пер. с англ. Е.Г. Коваленко. – М.: Мир, 1972. – 381 с.
6. Rollins J.R. 23 years of surface tension propellant management system design, development, manufacture, test and operation // AIAA Paper. – 1986. – №.86-833. – 9 p.
7. Tegart J.R. Influence of pressure transients on the performance of capillary propellant acquisition systems / J.R. Tegart // AIAA Paper. – 1976. – № 597. – 8 p.