

УДК 532.593:541.24

## Моделирование работоспособности средств обеспечения сплошности топлива КА

А. С. Макарова, С. А. Давыдов, Л. А. Сорокина, А. В. Давыдова

Дніпропетровський державний університет

*Надійшла до редакції 14.05.97*

Запропоновані методики розрахунку утримувальної здатності засобів забезпечення суцільності палива КА в умовах динамічного навантаження імпульсного та вібраційного типу, а також на перехідних етапах роботи рушійної установки.

Создание новых высокоманевренных типов КА многоцелевого назначения требует постоянного совершенствования системы топливоподачи. Главным требованием, предъявляемым к этой системе, является обеспечение надежного запуска двигательной установки из состояния практической невесомости. Использование специальных средств обеспечения сплошности (СОС) топлива в виде разнообразных сетчатых элементов внутри полостей топливных баков позволяет осуществлять многократные запуски двигательной установки в нужные моменты времени полета КА. Однако необходима всесторонняя надежная проверка работоспособности СОС в разных условиях полета.

В настоящее время, как правило, подвергается проверке работоспособность СОС топлива в условиях статического нагружения. Однако при выполнении маневров летательный аппарат подвергается динамическим воздействиям вибрационного и импульсного характера. Кроме того, в последние годы существенно увеличилось относительное время работы СОС на переходных этапах работы двигательной установки. Экспериментальная проверка работоспособности СОС топлива в указанных случаях на полномасштабных моделях в условиях нормальной гравитации связана со значительными материальными затратами, а иногда практически нереализуема. Поэтому разработка математических моделей процесса разделения фаз посредством сетчатых

экранов и создание на основе этих моделей методик численного расчета уровня работоспособности сетчатых разделителей позволяет эффективно прогнозировать их работу в самых разных ситуациях при минимальных материальных затратах.

Существующие в настоящее время модели взаимодействия газожидкостного потока с сетчатыми преградами основаны на существенных упрощающих предположениях и не вполне адекватны реальным физическим процессам. Например, в работе [1] при расчете прорыва газа через перфорированный барьер используется теоретическая модель, в которой не учитывается вязкость контактирующих фаз, а также коэффициент живого сечения перфорированного барьера. Применимость предлагаемой методики расчета работоспособности капиллярных фазоразделителей для инженерной практики ограничена сетчатыми экранами с коэффициентом живого сечения, близким к единице.

В работе [2] для расчета работоспособности сетчатых разделителей предлагается обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка, основанное на представлении сетчатого экрана в виде системы равномерно распределенных торцов. При этом подходе, как и в [1], существенно упрощается внутренняя геометрия канала ячеек сетчатого барьера. Коэффициент живого сечения учитывается косвенным путем, а диссипативные силы учитываются лишь для течения газовой фазы по каналам

ячеек сетки.

Предлагаемая модель работоспособности СОС сетчатого типа и методики расчета удерживающей способности в динамических условиях лишены отмеченных недостатков. В расчетные уравнения непосредственно входит коэффициент живого сечения сетчатого экрана. При моделировании учитывается вязкость как жидкой, так и газовой фазы. Система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающая процесс взаимодействия поверхности раздела фаз с сетчатой преградой, получена на основе законов сохранения импульса, энергии и массы. При этом методика численного расчета отличается простотой реализации и малыми затратами машинного времени. При моделировании учитываются физические свойства обеих контактирующих фаз, а также интенсивность действия массовых сил. Внешние силовые воздействия, приложенные к сетчатому разделителю, описываются в математической модели специальными параметрами.

Достоверность методики расчета экспериментально подтверждается для сетчатых разделителей фаз с размерами ячеек от 10 до 100 мкм любого типа плетения.

Одним из возможных условий функционирования СОС во время полета летательного аппарата является перемещение топлива с газовыми включениями вдоль поверхности сетчатых экранов в результате динамических воздействий на корпус КА, а также на этапе запуска двигательной установки. Математическая модель и методика численного расчета СОС сетчатого типа в указанных условиях

позволяет оценить степень снижения их работоспособности. Коэффициент снижения удерживающей способности СОС сетчатого типа в данном случае зависит от чисел Рейнольдса и Вебера и может быть легко получен по соответствующим критериальным зависимостям. Достоверность методики экспериментально подтверждена для чисел Рейнольдса в диапазоне от 0.5 до 90 и чисел Вебера от 1.5 до 600.

Таким образом, методики расчета удерживающей способности СОС топлива сетчатого типа позволяют эффективно оценивать пригодность того или иного типа сетчатого элемента для выполнения конкретного полетного задания. Приемлемость расчетных методик подтверждена экспериментально для широкого класса сетчатых экранов.

1. Gluck D. F. Propellant position control by capillari barriers during spacecraft rotational maneuvers // AIAA paper.— 1969.—N 529.—8 p.
2. Tegart J. R. Influens of pressure transients on the performance of capillary propellant acquisition system // AIAA paper.— 1976.—N 597.—8 p.

---

#### SIMULATING THE EFFICIENCY OF THE MEANS ENSURING FUEL CONTINUITY IN SPACE VEHICLES

A. S. Makarova, S. A. Davydov, L. A. Sorokina, A. V. Davydova

We propose calculation procedures for determining the holding capacity of the means that ensure fuel continuity in space vehicles under the dynamic impulsive or vibrational load as well as at transition stages of power-plant operation.