УДК 629.784:621.64:532.542

**С. И. ДОЛГОПОЛОВ, А. Н. ЗАВОЛОКА, А. Д. НИКОЛАЕВ,
Н. Ф. СВИРИДЕНКО, Д. Э. СМОЛЕНСКИЙ**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СТУПЕНИ ПРИ ОСТАНОВАХ И ЗАПУСКАХ МАРШЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Разработан методический подход к определению параметров гидродинамических процессов, протекающих в системе питания космической ступени ракеты-носителя при остановах и запусках ее маршевого двигателя в процессе выполнения сложной программы полета. Подход учитывает специфику функционирования системы питания ступени и особенности ее конструктивного исполнения, в том числе: рассеяние энергии в жидкости; акустические явления в магистралях, податливость стенок магистралей и наличие свободных газовых включений в жидкости; конфигурацию питающей магистрали; зависимости от времени площади перекрытия клапана при останове двигателя и изменения давления и расхода жидкости на входе в маршевый двигатель при его запуске.

Подход основывается на математическом моделировании питающих магистралей как систем с распределенными параметрами, аппроксимации их частотных характеристик конечными гидродинамическими элементами и построении математической модели нелинейной динамики системы питания двигателя. Результаты численного моделирования гидроудара в стендовой системе питания, конструктивно близкой к штатной, показали удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных параметров гидродинамических процессов.

Предложенный методический подход позволяет определять параметры гидроудара и инициируемых им эффектов в различных элементах системы питания космической ступени при остановах и запусках ее маршевого двигателя в условиях полета, сократить объем и стоимость экспериментальной отработки, в частности при внесении изменений в конструкцию системы питания на этапах проектирования ступени.

Ключевые слова: *жидкостная ракета-носитель, космическая ступень, запуск и останов маршевого двигателя, параметры гидроудара в системе питания, математическое моделирование, тестирование модели.*

1. *Сердюк В. К.* Проектирование средств выведения космических аппаратов : учеб. пособие для вузов / *В. К. Сердюк*. – М. : Машиностроение, 2009. – 504 с.
2. Ракета как объект управления / *И. М. Игдалов, Л. Д. Кучма, Н. Ф. Поляков, Ю. Д. Шептун*. – Д. : АРТ – ПРЕСС, 2004. – 544 с.
3. *Петров В. И.* Кавитация в высокооборотных лопастных насосах / *В. И. Петров, В. Ф. Чебаевский*. – М. : Машиностроение, 1982. – 192 с.
4. *Козлов А. А.* Системы питания и управления жидкостных ракетных двигательных установок / *А. А. Козлов, В. Н. Новиков, Е. В. Соловьев*. – М. : Машиностроение, 1988. – 352 с.
5. Методика расчета нагрузки султана жидкости на крышку бака / *Ш. У. Галиев, В. К. Борисевич, А. Н. Потаненко, А. Ф. Плиско-Виноградский* // Проблемы прочности. – 1984. – № 5. – С. 47 – 52.
6. Определение параметров газожидкостных структур, формирующихся в компонентах топлива при запуске маршевого двигателя космической ступени с малыми уровнями заполнения ее баков / *О. В. Пилипенко, А. В. Дегтярев, А. Н. Заволока, А. Э. Кашанов, А. Д. Николаев, Н. Ф. Свириденко, И. Д. Башлий* // Техническая механика. – 2014. – № 4. – С. 3 – 13.
7. *Беляев Е. Н.* Математическое моделирование рабочего процесса жидкостных ракетных двигателей / *Е. Н. Беляев, В. К. Чванов, В. В. Черваков*. – М. : Изд-во МАИ, 1999. – 228 с.
8. Теория автоматического управления ракетными двигателями / *А. А. Шевяков, В. М. Калнин, Н. В. Науменкова, В. Г. Дятлов*. – М. : Машиностроение, 1978. – 288 с.
9. Основы теория и расчета жидкостных ракетных двигателей / *А. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов, В. Д. Курпатенков, А. М. Обельницкий, В. М. Поляев, Б. Я. Полуян*. – М. : Высшая школа, 1975. – 656 с.
10. *Присняков В. Ф.* Динамика жидкостных ракетных двигательных установок и систем питания / *В. Ф. Присняков*. – М. : Машиностроение, 1983.– 248 с.
11. *Чарный И. А.* Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах / *И. А. Чарный*. – М. : Недра, 1975. – 296 с.
12. *Фокс Д. А.* Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах / *Д. А. Фокс*. – М. : Энергоиздат, 1981.– 248 с.
13. *Пилипенко В. В.* Кавитационные колебания и динамика гидросистем / *В. В. Пилипенко, В. А. Задонцев, М. С. Натанзон*. – М. : Машиностроение, 1977. – 352 с.
14. *Долгополов С. И.* Математическое моделирование динамики жидкости в протяженных трубопроводах с помощью гидродинамических элементов / *С. И. Долгополов* // Техническая механика. – 2006. – № 2. – С. 114 – 120.
15. *Присняков В. Ф.* Кипение / *В. Ф. Присняков*. – К. : Наук. думка, 1988. – 240 с.