

Шустов С.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОБСТВЕННУЮ ВНЕШНЮЮ АТМОСФЕРУ И ЭЛЕМЕНТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ШТАТНЫХ ЖРДМТ ТЯГОЙ 10-100 Н

Актуальность проблемы загрязняющего воздействия жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ) возрастает по мере увеличения сложности орбитальных модулей и сроков их функционирования на орбите. Особое значение эта проблема приобрела в связи с созданием Международной космической станции (МКС). Каждый из функциональных орбитальных модулей содержит несколько десятков ЖРДМТ системы управления, работающих на агрессивных компонентах топлива: азотный тетраксид (АТ) и несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и имеющих тягу от 10 и до 400 Н. Необходимость обеспечения окупаемости МКС приводит к длительному сроку существования орбитальных модулей — 15-20 лет. Анализ показывает, что одним из основных факторов, лимитирующих срок существования орбитальных модулей, является вредное воздействие выхлопных струй ЖРДМТ на элементы поверхности орбитальных модулей и оборудование, размещенное на внешней поверхности этих модулей.

Основными факторами вредного воздействия являются силовое, тепловое и загрязняющее воздействие струй ЖРДМТ. Результаты, относящиеся к факторам силового и теплового воздействия рассматриваются в работах [1,2].

Основная цель данного исследования — получение количественных характеристик параметров загрязняющего воздействия штатных ЖРДМТ на компонентах топлива АТ и НДМГ. Вследствие чрезвычайной сложности этих процессов надежное получение их количественных характеристик на данном этапе возможно лишь экспериментально.

Экспериментальное исследование, результаты которого излагаются в данной работе, проводилось в лаборатории энергетики летательных аппаратов (ОНЛ-2) Самарского государственного аэрокосмического университета на экспериментальной базе, описание которой приведено в [3].

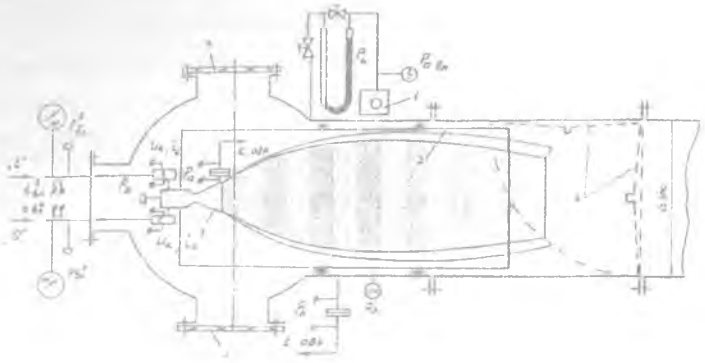


Рис. 1

1 - опорный вакуумный насос (ОВН); 2 - съемная ловушка для определения суммарной массы загрязняющей жидкой фазы загрязняющей фазы за импульс; 3 - штатный ЖРДМТ; 4,5 - бронестекла смотровых окон экспериментального модуля; 6 - задвижка $d_v=500$, отделяющая экспериментальный модуль от основной вакуумной камеры объемом 40 м^3 .

Течение рабочего тела в заштрихованной области соответствует течению в бортовых условиях; в этой области размещается экспериментальное оборудование для определения локальных параметров загрязняющей жидкой фазы.

Разработанная методика экспериментального исследования была основана на использовании штатных ЖРДМТ и натуральных компонентов топлива с имитацией высотных условий, обеспечивающих такое же распределение газодинамических параметров в струе ЖРДМТ, как и на борту КА. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

Объектами экспериментального исследования являлись штатные ЖРДМТ на самовоспламеняющихся компонентах АТ и НДМГ тягой $\sim 10 \text{ Н}$ со струйной схемой смесеобразования тягой $\sim 130 \text{ Н}$ со струйно-центробежной схемой смесеобразования. Исследование проводилось при импульсных режимах работы этих ЖРДМТ с длительностью включения от $0,02 \text{ с}$ до $0,07 \text{ с}$.

Первая часть экспериментальных результатов связана с определением массовых характеристик жидкой фазы за один импульс. Определение массы жидкой фазы за единичное включение осуществлялось с помощью специальной ловушки из алюминиевой фольги тол-

шиной порядка 0.1 мм, которая помещалась в струю ЖРДМТ и взвешивалась до и после включения. Основные результаты этой части эксперимента сводятся к следующему.

Масса выбрасываемой жидкой фазы на переднем и заднем фронтах импульса составляет 3,5-5,5%, а на установившемся участке импульса – около 1% от номинального расхода за импульс (под номинальным понимается расход, равный произведению секундного расхода для установившегося режима на длительность командного сигнала).

Результаты эксперимента показали, что прогрев ЖРДМТ при его работе в режиме связанных по теллу импульсов приводит к существенному уменьшению массы выбрасываемой жидкой фазы. Так при переходе от режима единичных импульсов с длительностью командного сигнала 0,3 с к режиму из серии пяти импульсов такой же длительности и паузой 0,1 с уменьшение массы выбрасываемой жидкой фазы составило от 25 до 40%.

Использование секционных ловушек позволило установить, что уменьшение массы выбрасываемой жидкой фазы связано с областью стенки, что говорит о значительной роли процессов взаимодействия газовой фазы с жидкой пленкой на стенке в механизме формирования выбрасываемой из сопла жидкой фазы при импульсных режимах включений. По мере прогрева пленка на части стенки испаряется, что и приводит к уменьшению массы выбрасываемой жидкой фазы.

Вторая часть эксперимента была связана с определением спектральных характеристик жидкой фазы. Методика проведения этой части заключалась в установке стеклянных экранов в струю ЖРДМТ и микрофотографированию капель, оставшихся на экране с последующей обработкой полученных фотографий.

Основные результаты этой части эксперимента сводятся к следующему:

основная массы выбрасываемых жидких капель имеет размер от 100 до 1 мкм;

на оси струи плотность распределения капель по размерам (на единицу площади поперечного сечения) изменяется в диапазоне от 10^3 капель/мм² для диаметра капель порядка 5 мкм до 0,5-1 капель/мм² для диаметра капель порядка 100 мкм;

на уровне среза сопла $y=r_a$ (y – поперечная координата, r_a – радиус среза сопла) для диапазона капель от 1 до 10 мкм плотность распределения такая же, как и на оси струи; по мере увеличения диаметра капель плотность распределения монотонно уменьшается, принимая при диаметре капель порядка 100 мкм значение 0,1 капель/мм²;

при $y=2r_a$ плотность распределения капель с размером около 5 мкм уменьшается на порядок по сравнению с распределением на оси струи;

в периферийной области струи ($y > 2r_a$) находятся, в основном, капли с размером от 1 мкм и менее; при этом плотность распределения этих капель находится в диапазоне от 10^2 до 10^3 капель/мм³.

Полученные результаты указывают на значительный уровень загрязняющего воздействия штатных ЖРДМТ как на СВА, так и на конструктивные элементы КА. При этом выявлены основные факторы, влияющие на уровень загрязняющего воздействия, что позволяет снижать его за счет изменения конструктивных и режимных параметров ЖРМДТ, наиболее сильно влияющих на характеристики выбрасываемой жидкой фазы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шустов С.А. Газодинамическая постановка задачи расчета силового и теплового воздействия струй ЖРДМТ на элементы КЛА. Труды 9-го Всероссийского семинара по управлению движением и навигацией летательных аппаратов. СГАУ, Самара, 1999 г., часть 2, с.284-287.
2. Безменова Н.В. Исследования теплового состояния ЖРДМТ в связи с проблемой его радиационного и загрязняющего воздействия на элементы космического аппарата. (В данном сборнике).
3. Акимов В.Ф., Гальперин Р.Н., Дубинкин Ю.М., Нигодюк В.Е., Чечин А.В., Шустов С.А. Исследовательско-испытательный комплекс для энергетических установок космических аппаратов. Сборник научно-технических статей по ракетно-космической тематике. Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс», 2001, с.244-246.