

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА СТРУЙ ШТАТНЫХ ЖРДМТ НА САМОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ КОМПОНЕНТАХ ТОПЛИВА ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМАХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Шустов С.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF LTRE YET PHASE COMPOSITION WITH HYPERGOLIC PROPELLANT UNDER IMPULSE ENGAGING CONDITIONS

Shustov S.A. The results of the experimental research of phase composition of staff LTRE with thrust from 10 N to 130 N with hypergolic propellant under impulse engaging conditions are described. By the impulse from 0.02 sec. to 1 sec. some numeric characteristics of the yet phase composition are defined, such as mass part of liquid phase and drop dimension.

Экспериментальное исследование проводилось в НИЦ КЭ СГАУ (ОНИЛ-2) с целью получения информации о фазовом составе струй ЖРДМТ при импульсных режимах включений жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ) на самовоспламеняющихся компонентах топлива АТин и НДМГ. Эта информация необходима как для лучшего понимания физической картины процесса истечения струй из сопел ЖРДМТ, так и для формирования физико-математических моделей этих процессов, используемых для решения актуальным problem, связанных с вредным загрязняющим воздействием струй ЖРДМТ на элементы конструкции космических аппаратов.

Объектом исследования являлись штатные ЖРДМТ тягой от 10 Н до 100 Н со струйной и струйно-центробежными системами смесеобразования. Номинальное входное давление в топливных магистралях составляло от 1,5 МПа до 1,8 МПа, коэффициент избытка окислителя $\alpha_{ок} = 0,6$. Приводится описание полученных результатов, которые, в основном, сводятся к следующему. В ЖРДМТ лишь часть массы компонентов, поступивших за импульс в камеру сгорания, превращается в газообразные продукты сгорания, а остальная часть остается в жидкой фазе в виде пленки на стенках камеры сгорания и сопла, а также в виде жидких капель, выносимых из двигателя струей. Зависимость суммарного относительного расхода жидкой фазы за импульс в зависимости от командного сигнала для штатного

ЖРДМТ тягой 130 Н со струйно-центробежной системой смесеобразования показана на рис. 1. Видно, что при длительности командного сигнала, равной 20 мс, доля жидкой фазы составляет 40%. Эта относительная величина расхода жидкой фазы за импульс заметно выше, чем для штатного ЖРДМТ тягой 10 Н со струйной системой смесеобразования, для которого оценка доли жидкой фазы показывает величину 28 %.

Для экспериментального определения массы жидкой фазы, выбрасываемой струей штатных ЖРДМТ использовались разработанные под руководством автора многосекционные цилиндрические ловушки. Конструкция каждой из ловушек состоит из двух частей, внешняя из которых выполняет роль

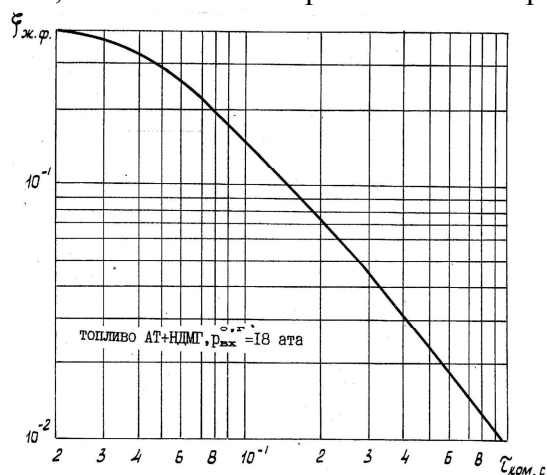


Рис. 1. Зависимость относительного расхода жидкой фазы от длительности командного сигнала для штатного ЖРДМТ тягой порядка 100 Н

силового каркаса, а внутренняя часть выполнена из алюминиевой фольги толщиной 10 микрон (в дальнейшем тексте эта внутренняя часть ловушки из фольги будет называться рабочей частью ловушки). Методика проведения эксперимента с использованием ловушек заключалась в следующем. До установки ловушки в вакуумную камеру на аналитических весах взвешивалась рабочая часть ловушки. В случае использования секционной ловушки проводилось взвешивание рабочей части каждой секции. После этого проводилась сборка ловушки и установка ее в вакуумную камеру. Вследствие малого расхода капель за единичный импульс ЖРДМТ тягой порядка 10 Н и с целью повышения точности замера массы капель в процессе эксперимента с ловушкой определялась суммарная масса капель за 20 импульсов длительностью 0,02 с каждый и паузой 5 с между ними. После этого повторно проводилось взвешивание на аналитических весах каждой ловушки (секции). Абсолютная погрешность взвешивания ловушки на аналитических весах не превышала 0,2 мг (при массе рабочей части ловушки или секции около 2 г), поэтому погрешность определения массы капель при двукратном взвешивании (до и после эксперимента) не превышает 0,3 мг. Для ЖРДМТ тягой около 100 Н определение массы выбрасываемых капель проводилось за единичный импульс.

Для штатного ЖРДМТ тягой порядка 10 Н полученные с помощью ловушек результаты при длительности командного сигнала $\tau_k=0.02$ с дают величину расхода массы капель за один импульс $2,7\pm 0,3$ мг при суммарном суммарного расхода жидкой фазы за импульс, равном 25 мг. Таким образом, доля жидкой фазы за импульс, выносимой струей ЖРДМТ в виде капель, составляет величину порядка 10 %, а 90 % составляет масса жидкой фазы (около 22 мг), осаждаемая в виде пленки на внутренней поверхности стенок камеры сгорания и сопла. Доля выбрасываемой жидкой фазы относительно к номинальному расходу компонентов за импульс составляет для этого ЖРДМТ величину около 2.6 %. Для ЖРМДТ тягой порядка 100 Н были получены следующие па-

раметры выброса жидкой фазы: на переднем и заднем фронтах импульса — около 50 мг (3,7% от номинального расхода за импульс), а на стационарном участке импульса — около 5 мг/с (1,1% от номинального секундного расхода).

Завершающая часть экспериментального исследования была связана с определением спектральных характеристик капель жидкой фазы, выбрасываемых струей при импульсных режимах включения штатных ЖРДМТ. Капли осаждались на стеклянных экранах, размещаемых в пределах первой «бочки» струи ЖРДМТ. Затем с помощью инструментального микроскопа с 60× увеличением определялись размеры капель и плотность их распределения для различных областей струи, а также проводилось микрофотографирование этих капель. Основные результаты этой серии экспериментов сводятся к следующему: капли контаминантов представляют собой светлую жидкость с чрезвычайно низкой скоростью испарения (за 14 дней в пределах разрешающей возможности инструментального микроскопа порядка 1 микрона не удалось обнаружить уменьшение размера капель с поперечным размером около 1 мм); выявлена значительная неравномерность в поперечном направлении таких параметров, как геометрические размеры капель, плотность распределения капель и массовый поток капель через единицу площади; наименьшее число капель крупного размера (более 40 мк), наибольшую равномерность размеров капель и максимальное число капель на единицу площади ($10^3 \dots 10^4$ капель на 1 мм^2) имеет поток на оси струи; наибольший размер капель (достигающих размеров порядка 1 мм) соответствует поперечной координате порядка радиуса выходного сечения сопла; массовая плотность потока капель в поперечном направлении для ЖРДМТ тягой порядка 10 Н имеет максимум на оси струи, а для ЖРДМТ тягой порядка 100 Н имеет минимум на оси сопла, характерный максимум на расстоянии порядка радиуса сопла и длинный «хвост» в периферийной части сопла, длина которого определяется разрешающей способностью микроскопа.