

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУЙ ШТАТНЫХ ЖРДМТ НА МОДЕЛИ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Шустов С.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF WARM INFLUENCE OF LTRE YET UPON THE CONSTRUCTION OF AEROSPACE APPARATS

Shustov S.A. The methods and results of the experimental research of warm yetis influence of staff LTRE with thrust from 10 N to 100 N with hypergolic propellant for continuous as well as for impulse engaging regimes are described. The influence of basic thermo gas dynamic factors upon the warm force in the near and far area of yet in relation to the nozzle cut of LTRE is defined.

Экспериментальное исследование проводилось в научно-исследовательском центре космической энергетики СГАУ (НИЦ КЭ СГАУ, ранее ОНИЛ-2 КуАИ) с целью получения информации о тепловом воздействии струй жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ) на самовоспламеняющиеся компоненты топлива АТин и НДМГ ЖРДМТ как на непрерывных, так и импульсных режимах включений. Эта информация необходима как для лучшего понимания физических процессов теплового воздействия струй ЖРДМТ на элементы космических аппаратов, так и для формирования физико-математических моделей этих процессов

Объектом исследования являлись штатные ЖРДМТ тягой от 6 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 $\alpha_{ок} = 0.6$.

В данной работе излагаются результаты экспериментального исследования максимальной величины тепловых потоков, что соответствует «лобовому» воздействию струи ЖРДМТ на элементам конструкции космического аппарата, когда вектор скорости струи направлен перпендикулярно к элементу поверхности. Такая ситуация моделировалась обтеканием струей ЖРДМТ плоского торца цилиндра.

Схема проведения эксперимента по исследованию теплового воздействия струи ЖРДМТ на цилиндр с плоским торцом при-

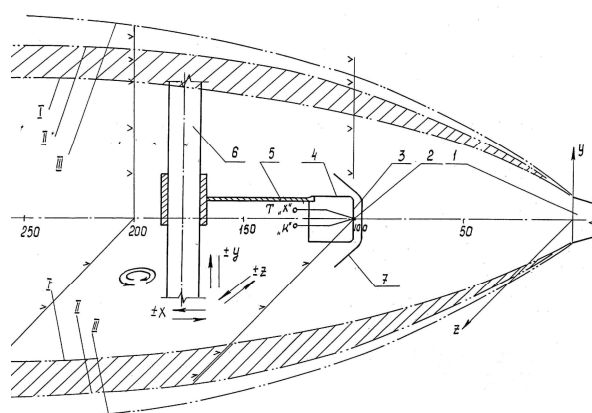


Рис. 1. Схема проведения эксперимента по тепловому воздействию струи штатного ЖРДМТ на цилиндр с плоским торцом

ведена на рис. 1. В струе продуктов сгорания, истекающих со сверхзвуковой скоростью из сопла ЖРДМТ 1, располагается приемник теплового потока, выполняемый в виде цилиндра 4. Толщина торца цилиндра изменялась в ходе экспериментов и составляла 0,2 и 0,5 мм. Цилиндр с диаметром 20 мм выполнен из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. К стенке торца цилиндра с внутренней стороны приварена термопара 2, изготовленная из хромель-копелевых проволочек диаметром 0,2 мм. Диаметр спая составлял 0,5 мм. Приемник теплового потока с помощью державки 5 располагается на стойке 6, установленной на координатнике, обладающем 4-мя степенями свободы. Стойка теплоизолирована от приемника теплового потока. Экспериментальное определение тепловых потоков осуществлялось методом «тонкой стенки» с помощью измерения тем-

пературы внутренней поверхности пластины ΔT за фиксируемый промежуток времени $\Delta \tau$. Оценка величины теплового потока q проводится по формуле

$$q = \zeta \delta C_p \frac{\Delta T}{\Delta \tau}, \quad (1)$$

где ζ – плотность материала стенки, C_p – теплоемкость, δ – толщина стенки. Термодатчики перед испытаниями прошли индивидуальную градуировку в электрической печи в диапазоне температур от 0 до 800°С. Регистрация измеряемой температуры осуществлялась одновременно на шлейфовом осциллографе и ЭВМ.

Влияние расстояния от приемника до сопла на величину теплового потока в осевой зоне струи показано на рис. 2. В эксперименте, результаты которого приведены на рисунке, в качестве источника струи использовался штатный ЖРДМТ тягой 6 Н на самовоспламеняющихся компонентах топлива. В исследованном диапазоне расстояний ($x = 5 \dots 400$ мм) величина q изменяется от 3 до 0,1 МВт/с. Наиболее сильное влияние координаты x проявляется в области влияния среза сопла. В диапазоне $2 \leq \bar{x} \leq 6$ наблюдается существенная не монотонность зависимости $q(\bar{x})$, обусловленная не монотонным изменением числа Маха (см. рис. 2). В этой области существенную роль играет двухмерный характер течения в струе, обусловленный влиянием ударно-волновой структуры, источником которой является сопло. При $\bar{x} \geq 6$ величина q монотонно уменьшается по мере увеличения \bar{x} , что обусловлено расширением струи. В этой области влияние двухмерного характера течения не существенно и можно использовать модель течения от источника. В рамках такого подхода была разработана численная модель теплового воздействия струи ЖРДМТ на элемент поверхности, расположенный перпендикулярно вектору скорости струи. Результаты сравнения расчетной и экспериментальной зависимостей, приведенные на рис. 2, свидетельствуют об их удовлетворительном согласовании.

При импульсных режимах включений для определения величина удельного теп-

лового потока на оси струи $q^{\text{имп}}(\bar{x})$ используется зависимость

$$q^{\text{имп}}(\bar{x}) = q(\bar{x}) \cdot \bar{q}. \quad (2)$$

В этой зависимости \bar{q} – множитель, учитывающий снижение теплового потока при импульсных режимах включений по сравнению с непрерывным режимом.

Для определения величины \bar{q} используются следующие зависимости:

$$\bar{q} = 0.293 + 1.87 \tau_{\text{вкл}} - 1.04 \tau_{\text{п}} + 0.127 n \quad (0.02 \text{ с} \leq \tau_{\text{вкл}} \leq 0.05 \text{ с}), \quad (3)$$

$$\bar{q} = 0.538 + 0.480 \tau_{\text{вкл}} - 0.466 \tau_{\text{п}} + 0.137 n \quad (0.05 \text{ с} \leq \tau_{\text{вкл}} \leq 0.1 \text{ с}). \quad (4)$$

В зависимостях (3), (4) $\tau_{\text{вкл}}$ – длительность командного сигнала, $\tau_{\text{п}}$ – длительность

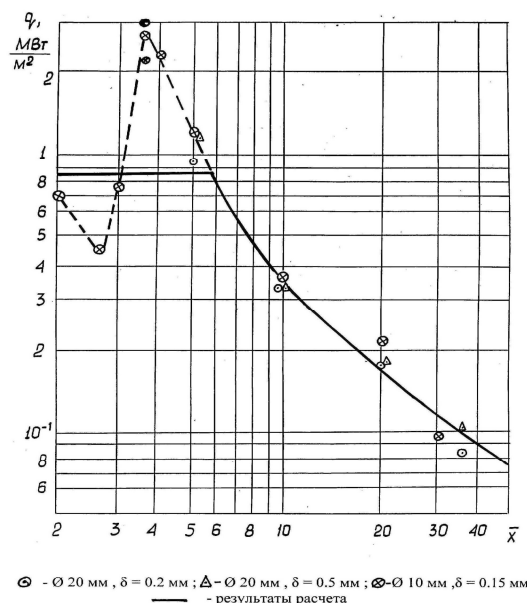


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных результатов по тепловому воздействию на торец цилиндра струи штатного ЖРДМТ 6 Н

паузы между импульсами, n – количество импульсов.

Зависимости (3), (4) аппроксимируют результаты экспериментального исследования n в НИЦ КЭ СГАУ влияния на величину тепловых потоков таких параметров циклаграммы импульсных включения ЖРДМТ, как $\tau_{\text{вкл}}$, $\tau_{\text{п}}$ и n . Для получения этих аппроксимирующей зависимостей была использована технология дробного факторного эксперимента.