



Рис.2. Модель электроракетной двигательной установки на иоде с безрасходным катодом-компенсатором

Такой вариант не требует дополнительной подачи рабочего тела в катод, но требует дополнительного вклада мощности в нагрев и улучшит массогабаритные характеристики электроракетной двигательной установки. Однако использование безрасходного КК в составе ЭРДУ ограничивается рядом проблем, которые удовлетворительно не решены до сих пор.

Для генерации электронов необходим катодный узел с низкой работой выхода электронов из эмиттера катода и эффективным нагревателем эмиттера с большим ресурсом работы, а также средства для транспортировки потока электронов из прикатодной области к потоку ионов.

УДК 532.525.2.011.5

## О ПРОБЛЕМАХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЁТА СТРУЙ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ ТЯГИ

©2018 С.Г. Ребров<sup>1</sup>, С.А. Шустов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Исследовательский центр имени М.В.Келдыша, г. Москва

<sup>2</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

### ABOUT GAS DYNAMICS JET CALCULATION PROBLEMS OF LIQUID ROCKET ENGINES OF SMALL THRUST

Rebrov S.G. (Research Center named after M.V. Keldysh, Moscow, Russian Federation)

Shustov S.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

*The paper deals with analytic results of the problems concerning gas dynamics jet calculation jet of liquid rocket engines of small thrust in connection with their power, heat and contaminating influence upon construction elements and equipment of spacecrafts.*

Газодинамический расчёт струй жидкостных ракетных двигателей малой тяги (ЖРДМТ) должен обеспечивать решение следующих основных задач:

1) расчёт полей термодинамических и газодинамических параметров струй ЖРДМТ при истечении в собственную внешнюю атмосферу (СВА) космических аппаратов (КА) как для газовой, так и для жидкой фазы (для газовой фазы- давление, температура, плотность, скорость, химический состав, показатель изоэнтропы расширения; для жидкой фазы- количество и размер капель);

2) силовое и тепловое воздействие вытекающей струи на элементы конструкции КА;

3) загрязняющее воздействие на элементы конструкции КА и оборудование, размещаемое на внешней поверхности КА

(солнечные батареи, оптические датчики, приемопередаточные антенны и т.д.)

В настоящее время известны методы расчёта газодинамических параметров струй ракетных двигателей, основанные на допущении о несущественной зависимости газодинамических процессов в сопле и вытекающей из этого сопла струи [1,2]. Однако это допущение является оправданным лишь при идеальном течении продуктов сгорания в сопле и применимо лишь для ракетных двигателей большой тяги. В [3,5,6] показано, что рабочие процессы в соплах ЖРДМТ имеют ряд особенностей, основными из которых являются более низкое давление на входе в сопло, малые геометрические размеры, низкая полнота сгорания, невозможность организации регенеративного охлаждения, импульсные режимы включений. Это приводит

к значительному влиянию вязкости и химической неравновесности на течение в соплах ЖРДМТ, а также существенной взаимосвязи рабочих процессов в камерах сгорания и соплах этих двигателей, что ограничивает возможность использования для ЖРДМТ методов расчёта газодинамических параметров струй, изложенных в [1,2]. Отметим также, что в [1,2] не рассматриваются методы газодинамического расчёта силового, теплового и загрязняющего воздействия струй ЖРДМТ на элементы конструкции и оборудование КА.

В связи с этим в [4,5,6] приведены экспериментальные результаты, показывающие существенное влияние неидеального протекания термогазодинамических процессов в камерах сгорания и соплах ЖРДМТ на силовое и тепловое воздействие истекающих из сопел этих ЖРДМТ струй, а также предложены методы численного моделирования газодинамических процессах в струях ЖРДМТ с учётом неидеального протекания термогазодинамических процессов в камерах сгорания и соплах ЖРДМТ.

Весьма сложной оказалась проблема загрязняющего воздействия струй ЖРДМТ на самовоспламеняющихся компонентах топлива, особенно при их импульсных режимах работы. Наиболее надёжные результаты здесь могут быть получены лишь при экспериментальном исследовании с использованием штатных ЖРДМТ, при этом необходимо обеспечивать надёжную имитацию высотных условий и разрабатывать нестандартные методы определения параметров жидкой фазы в струе продуктов сгорания. Результаты экспериментального исследования загрязняющего воздействия струй штатных ЖРДМТ на самовоспламеняющихся компонентах, полученные в ИЦ Келдыша и Самарском университете, приведены в [7,8].

На основе изложенных результатов в [9] показана целесообразность решения проблемы газодинамического расчёта струй ЖРДМТ на основе использования методов физической газовой динамики, в соответствии с которыми этот газодинамический расчёт рассматривается как сопряжённая задача, включающая моделирование взаимосвязанных процессов в камере сгорания, сопле, струе, а также процессов, связанных с силовым, тепловым и загрязняющим воздействием

струй на элементы конструкции и оборудование КА.

#### Библиографический список

1 Авдеевский, В.С. Сверхзвуковые неизобарические струи газа [ / В.С.Авдеевский [и др.] //М.: Машиностроение,1985. – 248с.

2 Усков , В.И., Мирончук Н.С Газодинамические параметры свободно расширяющихся струй газа [Текст] // Руководство для конструкторов,1978, т.6, кн.1, вып.3.

3 Мирончук Н.С.,Усков В.И. Численный метод определения параметров струй космических управляющих двигателей малой тяги реактивной системы управления [Текст // Космонавтика и ракетостроение. -2009. - № 4(57).- с.26-33.

4 Ярыгин, В.Н. Газодинамика космических кораблей и орбитальных станций (обзор) [Текст]/ В.Н. Ярыгин, Ю.И. Герасимов, А.Н. Крылов, Л.В. Мишина, В.Г. Приходько, И.В. Ярыгин // Теплофизика и аэромеханика, 2011, том.18, № 3 .С.345- 372.

5 Ivanov I.E., Pirumov U.G., Shustov S.A. Numerical-theoretical and experimental investigation of flows in small thrust liquid jet engine nozzles and exposure of flow out jet to surface of spacecraft/// International Aerospace Congress IAC-94, August 15-1994, Moscow Russia, Proceeding,1995,p.690-693.

6 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. – Самара: СГАУ, 1999, , часть 2. – С.284-287.

7 Rebrov S.G., Shustov S.A. The research of phase structure of jet LTRE // 1<sup>st</sup> International conference on nonequilibrium processes in nozzles and jets, collected abstracts. Moscow, Russia, 1995, p. 120.

8 S. Rebrov, Y. Gerasimov. Investigation of the Contamination properties of Bipropellant Thrusters. AIAA 2001-2818, 35th AIAA Thermophysics Conference, 11-14 June 2001/Anaheim, CA.

9 Пирумов, У.Г., Шустов, С.А., Гидаспов, В.Ю, Иванов, И.Э Основы физической газовой динамики сопел и струй ракетных двигателей малой тяги // Вестник МАИ, т.16, №7, 2009, с.31-42.