

О ВАЛИДАЦИИ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА МАРШЕВЫХ ЖРД РАЗГОННЫХ БЛОКОВ С БОЛЬШОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТЕПЕНЬЮ РАСШИРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ TERRA И SPPSPMX

Безменова Н.В., Шустов С.А.

Самарский университет, г. Самара, shustov.st@yandex.ru

Ключевые слова: удельный импульс тяги в пустоте, маршевый ЖРД разгонный блок, валидация, программный комплекс TERRA, программный комплекс SPPSPMX.

Излагаются методика и результаты валидации термогазодинамического расчета маршевых ЖРД разгонных блоков (РБ) с большой геометрической степенью расширения на основе использования отечественных программных комплексов TERRA разработки МГТУ имени Н.Э. Баумана [1] и модифицированной версии программного комплекса SPPSPMX совместной разработки МАИ, Самарского университета и НИИМАШ (г. Нижняя Салда). Сведения о базовой версии программного комплекса SPPSPMX, предназначенной для термогазодинамического расчета ракетных двигателей малой тяги, изложены в [2]. Модификация базовой версии программного комплекса SPPSPMX за счет введения модулей перехода в пограничном слое, учета влияния вязкости и конвективного теплообмена в приближении турбулентного пограничного слоя обеспечила его использование для термогазодинамического расчета маршевых ЖРД РБ тягой до 100 кН.

Валидация термогазодинамического расчета проводилась для маршевых ЖРД РБ 11Д458МФ (разработка Ракетно-космической корпорации «Энергия») [3] и РД-016Д тягой 100 Н на жидких компонентах топлива кислород и водород (разработка КБ Химавтоматика [4]). Основные сведения об этих ЖРД приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Основные параметры маршевого ЖРД 11Д58МФ [3]

Тяга, кН	49,1
Удельный импульс тяги в пустоте, м/с	3649
Соотношение компонентов топлива	2.8
Давление в камере сгорания, МПа	8
Степень геометрического расширения сопла \bar{F}_a	500

Таблица 2 – Основные параметры маршевого ЖРД РД-0146Д [4]

Тяга, кН	75
Удельный импульс тяги в пустоте, м/с	4606
Соотношение компонентов топлива, Км	5,9
Давление в камере сгорания рос, МПа	6
Степень геометрического расширения сопла \bar{F}_a	500

При валидации термодинамического расчета в качестве эталонного решения использовались данные фундаментального справочника под редакцией академика В.П. Глушко [5].

При валидации газодинамического расчета в качестве эталонных значений действительной величины удельного импульса тяги в пустоте маршевых ЖРД принимались значения, указанных в табл. 1 и 2. При этом термогазодинамический расчет с использованием модифицированного программного комплекса SPPSPMX проводился при значениях параметров K_m , $p_{ос}$ и \bar{F}_a , указанных в табл. 1 и 2.

Результаты валидации термогазодинамического расчета с использованием программного комплекса SPPSPMX приведены в табл. 3.

Табл. 3 – Результаты валидации термогазодинамического расчета

Название ЖРД	\bar{F}_a	Действительная величина удельного импульса в пустоте из таблиц 1 и 2, м/с	Расчетное значение действительной величины удельного импульса в пустоте при $\varphi_k = 0,985$, м/с	Погрешность, %
11Д458МФ	500	3649	3657	0,2
РД-0146Д	500	4606	4602	0,1

Расчетные значения действительной величины удельного импульса в пустоте, представленные в табл. 3, определялись как с учетом потерь удельного импульса в сопле на основе использования программного комплекса SPPSPMX, так и с учетом потерь удельного импульса в камере сгорания, которые характеризуются коэффициентом φ_k . В соответствии с результатами, представленными в табл. 3, погрешность расчетного определения действительной величины удельного импульса в пустоте маршевых ЖРД разгонных блоков на основе использования программного комплекса SPPSPMX не превышает 0,2 %.

Список литературы

1 Trusov V.G. Program System TERRA for Simulation Phase and Termal Chemical Equilibrium // Proc.of XIV Int. Symp. on Chemical Thermodynamics.St.-Petersburg, Russia. July.2002. Pp. 483-484.

2 Безменова Н.В., Иванов И.Э., Кулябин К.П., Пастухов Б.Н., Шустов С.А. Программный комплекс для газодинамического расчета ЖРДМТ: структура и возможности. Тезисы докладов X международной конференции «Вычислительная механика и современные программные системы». Переславль-Залесский, 7-12 июня 1999 г. М., МГИУ, С. 33-34.

3 Аверин И.Н, Егоров А.М., Тупицын Н.Н. Особенности построения, экспериментальной отработки и эксплуатации двигательной установки разгонного блока ДМ-SL комплекса «Морской старт» и пути ее дальнейшего совершенствования // Космическая техника и технологии. 2014. № 2(5). С. 62-73.

4 Гуртовой А.А., ЛобовС.Д., Рачук В.С., Шостак А.В. Работы КБ Химавтоматики по созданию кислородно-водородных жидкостных ракетных двигателей // Космическая техника и технологии. 2014. № 1(4). С. 60-66.

5 Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания [Текст]: Справочник в 10 томах / под ред. акад. Глушко В.П. Том 2. М.: ВИНТИ АН СССР, 1972. 489 с.

Сведения об авторах

Безменова Наталья Витальевна, к.т.н., доцент кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева. Область научных интересов: термогазодинамика ракетных двигателей.

Шустов Станислав Алексеевич, д.т.н, доцент, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов имени В.П. Лукачева. Область научных интересов: термогазодинамика ракетных двигателей.

ON THE VALIDATION OF THE THERMOGAS-DYNAMIC CALCULATION OF THE MARKETING LRE UPPER BLOCKS WITH A HIGH GEOMETRIC DEGREE OF EXPANSION ON THE BASIS OF THE USE OF DOMESTIC SOFTWARE COMPLEXES TERRA AND SPPSPMX

Bezmenova N.V., Shustov S.A.

Samara National Research University, Samara, shustov.st@yandex.ru

Keywords: specific thrust impulse in a void, mid-flight rocket engine upper stage, validation, TERRA software package, SPPSPMX software package.

The technique and results of the validation of the thermogasdynamic calculation of the mid-flight rocket engines of upper stages with a thrust from 50 kN to 75 kN are presented.