

СИСТЕМНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

©2016 Н.Р. Горюнова, А.А. Горюнов

Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара

SYSTEM-MATHEMATICAL SIMULATION OF ENGINES PNEUMAHYDRAULIC POWER PLANT

Goryunova N.R., Goryunov A.A. (JSC SRC "Progress", Samara, Russian Federation)

The system approach for modeling of pneumatichydraulic power plant on the basis of multilevel mathematical model was considered in this work. Results of mathematical modeling of hydraulic and temperature characteristics and optimum algorithm of functioning of system were presented. The received model is offered to be applied at the stages of product lifecycle.

Анализ современных подходов к разработке изделий космической техники показывает, что для достижения требуемых параметров изделия и сокращения сроков разработки процесс проектирования должен основываться на математических моделях с максимальной отработкой изделия на этих моделях. Это позволяет выявить недостатки изделия и принять необходимые решения по их устранению до изготовления реального опытного образца. Целью работы является разработка математической модели пневмогидравлической системы (ПГС) предназначенной для анализа и расчёта гидродинамических и температурных процессов, отработки алгоритмов работы ПГС, анализа взаимодействия ПГС с другими системами ракеты-носителя (РН) на этапах разработки и эксплуатации изделия и анализа работы ПГС в нештатных ситуациях.

Пневмогидравлическая система рассматривается на следующих уровнях:

- системы, на котором описываются схема связей функциональных групп и внешние связи ПГС с другими системами РН (например, системой управления);
- функциональных групп (подсистем), на котором описываются их внутренняя структура и внешние связи с другими группами (подсистемы наддува баков, подачи компонентов топлива и др.);
- элементов, на котором описываются характеристики элементов, составляющих функциональные группы и имеющих самостоятельное назначение (клапаны, регуляторы, теплообменники и др.).

Для каждого из уровней проведён выбор средств разработки с учётом необходи-

мости использования ранее разработанных математических моделей и возможности создания собственных функциональных блоков в рамках выбранных средств. Для системного уровня и уровня функциональных групп выбрана программа Easy5 из пакета MSC Masterkey, для уровня элементов программы Easy5, а также программы CFX и Mechanical из пакета Ansys.

С помощью выбранных средств разработки построена многоуровневая математическая модель части ПГС жидкостной ракетной двигательной установки (ЖРДУ) блока первой ступени РН, включающая в себя:

- схему взаимодействия ПГС жидкостного ракетного двигателя и системы управления;
- схему внутренней структуры функциональных групп, обеспечивающих подачу компонентов топлива к двигателям и наддув топливных баков;
- модель управляющих воздействий системы управления на элементы ПГС;
- модель воздействия факторов окружающей среды на функционирование ПГС;
- модель жидкостного ракетного двигателя, основанную на уравнении влияния внешних факторов на характеристики двигателя;
- модели элементов функциональных групп: электропневмоклапанов, дроссельных шайб, газовых и жидкостных магистралей, теплообменников.

В результате расчётов, проведенных на основе разработанной многоуровневой математической модели ПГС, получены следующие результаты:

- определены гидродинамические и температурные характеристики системы;

- определён оптимальный алгоритм управления подсистемой наддува баков, обеспечивающий наименьший необходимый запас газа наддува;
- определено влияние нештатной ситуации (отказа элемента ПГС) на функционирование системы.

Дальнейшим направлением использования разработанной модели ПГС являются:

- подготовка и проведение стендовых испытаний, по результатам которых будут подтверждены параметры модели;
- контроль параметров ПГС при летно-конструкторских испытаниях ЖРДУ и штатной эксплуатации.

УДК 621.454.2

МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В КАМЕРЕ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

© 2016 Л.С. Шаблий, В.М. Зубанов, Д.В. Степанов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

SIMULATION METHODS OF A BURNING PROCESS INSIDE A ROCKET ENGINE CHAMBER

Shabliy L.S., Zubanov V.M., Stepanov D.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

A work present methods for simulation of burning process in the rocket engine chamber. Has been mentioned four software tools for burning simulation. Here are considered widely used burning models. The detailed calculation of hydrogen-oxygen rocket engine chamber has been performed in ANSYS CFX with Eddy Dissipation model for two sets of chemistry: one global reaction and detailed chemical system with 8 components and 18 reactions. The comparison of results gives more smooth contours of parameters for set with detailed system against variant with one reaction.

Горение в камере ракетного двигателя (РД) – наиболее сложный из процессов, протекающих в нём. Горение происходит в условиях трёхмерного турбулентного течения. Для изучения данного процесса используются численные методы моделирования.

Моделирование процесса горения в камере РД может быть реализовано в следующих программных продуктах.

1. Программа “Терга”, разработанная в МГТУ им. Баумана. В данном программном комплексе реализован расчёт параметров равновесия продуктов сгорания, достигаемого в результате химической реакции по длине сопла РД в трёх точках: камера сгорания (КС), критика, срез сопла. Течение считается одномерным, т.е. невозможно получить распределение продуктов сгорания по срезу сопла.

2. Программа “SPPS PMX”, разработанная на кафедре теории двигателей летательных аппаратов в Самарском университете. В данном программном комплексе наряду с моделью идеального ракетного двигателя (РД) реализована двумерная газодинамиче-

ская модель с учётом вязкости в приближение пограничного слоя. Также учитывается двумерный характер течения в сверхзвуковой профилированной части сопла путём решения уравнений Эйлера.

3. Программа FlowVision, разработанная компанией ООО «ТЕСИС». Данный программный продукт даёт возможность пользователю решать задачи, связанные с горением, моделированием течения в газовых горелках, котлах, камерах сгорания.

В FlowVision реализованы следующие модели горения: «Зельдович», «Магнуссен», «Аррениус», «Аррениус-Магнуссен», упрощённая модель Eddy Dissipation Concept.

4. Программа ANSYS CFX разработчика ANSYS Inc. (SAS Inc.). В данном программном продукте можно реализовать не только трёхмерное течение рабочего тела, но и смоделировать внутрикамерные процессы, протекающие в ЖРД (подача компонентов топлива, смешение, гомогенное горение, диффузия, турбулентное перемешивание, образование продуктов сгорания).