

## ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ В ОБЛАСТИ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Чижов А.А., Филинов Е.П.

Самарский университет, г. Самара, tchizhov.aptemui@yandex.ru

*Ключевые слова:* жидкостный ракетный двигатель, конструкция, программа обучения, топливная система.

Развитие ракетно-космической техники требует обеспечение большим материальным и человеческим ресурсом, высокой квалификации. Подготовка высококвалифицированных кадров проводится в высших учебных заведениях, в которых основное внимание уделяется теоретической подготовке студентов. Практический опыт конструирования не выходит за рамки лабораторных занятий и производственных практик, который также сильно ограничен по глубине, объёму и полноте получаемых знаний. Отмеченная проблематика относится и к области жидкостных ракетных двигателей (ЖРД).

Для улучшения практической подготовки студентов предлагается проводить учебно-исследовательские работы с полным жизненным циклом ЖРД, кроме использования на ракетоносителе. Вместо последнего этапа предлагается проводить широкую опытную работу. Объектом исследования является камера сгорания. Для простоты проведения экспериментов при проектировании важно закладывать модульность системы, которая обеспечит возможность замены узлов камеры. Используемые компоненты топлива должны отвечать повышенным требованиям к безопасности: воздух, кислород (газообразный и жидкий), закись азота, метан (газообразный и жидкий), пропан, этиловый спирт. Для их подачи рационально использовать вытеснительную систему подачи топлива, однако она может быть заменена на насосную с электроприводом.

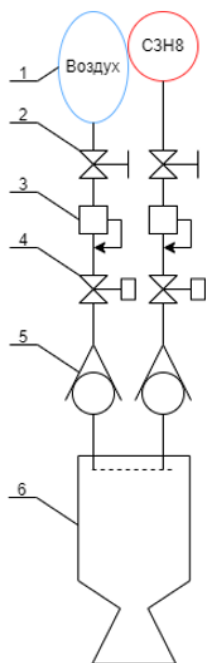


Рис. 1. Схема установки

В условиях недостатка опыта студентов, принимаемые ими решения при проектировании могут приводить к многочисленным отказам двигателя, в том числе и на этапе запуска. Основной проблематикой запуска двигателя является зажигание топливной смеси из-за низкого качества распыла и смешения, а также неправильно спроектированной системы зажигания. Поэтому в первую очередь требуется обеспечивать модульность форсуночной головки с изменением типов форсунок: струйные с внешним смешением без пересекающихся струй, струйные с внешним смешением и пересекающимися струями, струйными форсунками с внутренним смешением; и расположения зажигательного устройства: в ядре и пристеночном слое.

На рис.1 представлена предлагаемая схема установки, где 1 – баллоны топливные, 2 – краны механические, 3 – редуктора давления, 4 – клапан электромагнитный, 5 – обратный клапан, 6 – камера сгорания.

В качестве зажигательного устройства рационально использовать искровую систему в виду простоты, безопасности и большей используемости в современной технике.

Для получения студентами компетенций, отвечающих современному уровню, требуется использовать в процессе создания ЖРД методы современного производства: аддитивные технологии, цифровые двойники. Для производства камер ракетных двигателей наиболее интересным и перспективным представляет печать внутренней стенки и рубашки камеры на биметаллическом принтере, что уменьшает время, затрачиваемое на производство, и открывает

пути совершенствования регенеративного охлаждения камер [1]. Внедрение аддитивного производства также повышает квалификацию студента в области материаловедения, создавая дополнительные исследовательские задачи.

Итоговыми проектами студентов могут являться ЖРД, преимущественно малой тяги, со следующими изменяемыми параметрами:

1. Конструкция форсуночной головки – по характеру смещения;
2. Конструкция системы зажигания – по расположению искры в камере;
3. Вид топлива;
4. Наличие/отсутствием системы активного охлаждения. Могут рассматриваться радиационное, регенеративное охлаждение, а также охлаждение водяным контуром;
5. Материалом деталей камеры и способов (параметрами печати в случае аддитивного производства) производства;
6. Система подачи топлива;
7. Система управления: ручное дистанционное управление и программное.

Рассмотренная программа работы может быть пройдена в качестве выпускной квалификационной работы выпускника, в которой рассмотрен и пройден весь жизненный цикл двигателя.

Работа выполнена по проекту FSSS-2022-0019, реализуемого в рамках федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок», результат «Созданы новые лаборатории, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей».

#### **Список литературы**

1 Мосолов С.В., Лозино-Лозинская И.Г., Позвонков Д.М., Слесарев Д.Ф. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОДЕЛЬНОЙ КИСЛОРОДНО-МЕТАНОВОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ, СОЗДАННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2021. №3 (138).

Сведения об авторах

Чижов Артём Алексеевич, студент. Область научных интересов: экспериментальное исследование ракетных двигателей.

Филинов Евгений Павлович, доцент, старший научный сотрудник. Область научных интересов: математическое моделирование ГТД.

### **PRACTICE-ORIENTED TRAINING OF STUDENTS IN THE FIELD OF LIQUID ROCKET ENGINES**

Chizhov A.A., Filinov E.P.

Samara National Research University, Samara, Russia, tchizhov.aptemui@yandex.ru

*Keywords: liquid rocket engine, design, training program, fuel system.*

The parameters of the LRPE-based stand for teaching students of technical universities are considered. The stand is modular for changing the design during testing.