

УДК 681.3

*Кожемякин С.А.,*

*студент*

*5 курс, факультет «Институт космической техники»*

*Сибирский Государственный университет науки и технологий*

*им. академика М.Ф. Решетнёва*

*Россия, г. Красноярск*

*Пилипенко А.А.,*

*студент*

*5 курс, факультет «Институт космической техники»*

*Сибирский Государственный университет науки и технологий*

*им. академика М.Ф. Решетнёва*

*Россия, г. Красноярск*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ЖРД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3-D МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Аннотация:* В настоящее время специалисты отмечают несомненные преимущества цифрового моделирования при проектировании жидкостных ракетных двигателей. 3D-моделирование имеет значительные преимущества, к которым можно отнести возможности визуализации проектируемых деталей, расчета различных вариантов их компоновки. В статье рассмотрены примеры проектирования деталей ЖРД с использованием 3-d моделирования.

*Ключевые слова:* визуализация, этапы проектирования, проектная документация, жидкостный ракетный двигатель.

## DESIGN OF LPRE PARTS USING 3-D MODELING

***Annotation:** Currently, experts note the undoubted advantages of digital modeling in the design of liquid rocket engines. 3D modeling has significant advantages, which include the ability to visualize the projected parts, calculate various options for their layout. The article discusses examples of designing parts of a liquid-propellant engine using 3-d modeling.*

***Keywords:** visualization, design stages, project documentation, liquid rocket engine.*

**Введение.** Проектирование ракетного двигателя - сложный и длительный процесс. В настоящее время специалисты отмечают несомненные преимущества цифрового моделирования при проектировании жидкостных ракетных двигателей. Несомненно, использование технологий цифрового моделирования имеет перспективы использования на этапах проектирования в различных отраслях [5]. Это связано с возможностями этой технологии, при которой моделирование воспринимается заказчиком как 3D-модель для визуализации проекта и создания проектной документации. Например, известнейший концерн Boeing, лидер в сфере производства авиационной, космической и военной техники, еще в 1997 году обратился к сфере цифрового моделирования при создании конструктивных особенностей проекта Boeing 777. Были использованы практики DBD (digital product definition) и MBD (model based definition) для решения задач долговременного хранения, поиска и доступа к цифровому определению продукта, что привело в итоге к созданию стандарта под обозначением SAE ARP-9034 в 2003 г. [6]. Переход на электронное моделирование в отрасли позволяет преодолевать множество барьеров в производственном процессе.

3D-моделирование имеет значительные преимущества, к которым можно отнести возможности визуализации проектируемых деталей, расчета

различных вариантов их компоновки. Кроме того, можно осуществлять автоматизированный контроль коллизий при пересечении смежных разделов в проектах и исключать ошибочную интерпретацию данных [1].

3D-моделирование – это поэтапный процесс, включающий:

- 1) моделирование (создание математической базы);
- 2) текстурирование (введение свойств объектов);
- 3) симуляция динамики (используется при необходимости оценки взаимодействия частиц или каких-либо объектов);
- 4) рендеринг (проекционное построение);
- 5) Компоновка (завершающий этап, на котором полученная модель корректируется).

В качестве преимуществ 3D-моделирования специалистами выделены [2]:

- 1) наглядность изделия;
- 2) отсутствие нужды в дополнительной физической модели;
- 3) относительно быстрое получение чертежей и макетов изделий. Благодаря трёхмерным методам, можно избавиться от трудоёмких и рутинных занятий. Все построения чертежей происходят автоматически (по желанию пользователя);
- 4) функциональность. Возможность использования 3D-моделей в различных программах и устройствах;
- 5) из 4-го пункта «Функциональность» вытекает возможность автоматизированного расчета различных свойств изделия, таких как расчет распределения тепла, масс-инерционные характеристики и т. д. А так же ускорение процесса разработки;
- 6) гибкость изменения модели. Значительно упрощённое корректирование чертежа или модели.

Так, например, группа специалистов рассматривает возможность использования комплексов программного моделирования для проектирования

систем питания и управления ЖРД [8]. Авторами отмечены высокие требования по прочности, жесткости, герметичности, коррозионной стойкости, предъявляемые к трубопроводам. Проектирование узлов трубопроводов предполагает несколько этапов, закрепленных отраслевыми стандартами (ОСТ 92-1600-84, ОСТ 92-1601-84, ОСТ 92-1602-92) и подразделяется на несколько этапов [7], и использование большого количества ручного труда, при отсутствии гарантии оптимальной конфигурации трубопровода. В качестве пути решения проблем специалисты называют возможности автоматизации процессов проектирования с применением 3D-моделирования, что в свою очередь позволит исключить сложный, дорогостоящий и трудоемкий процесс проектирования.

Использование 3-D модели при проектировании используется при расчетах и других узлов ЖРД. Так, в своей публикации В.С. Комкова и И.В. Ушаков рассмотрели проектирование камеры жидкостного ракетного двигателя [3]. Авторы в своей работе рассмотрели возможности 3-D модели для профилирования дозвуковой части сопла и проектировании сопла с конической сверхзвуковой частью и оптимальным углом раскрытия. Математические расчеты и чертежи позволяют построить модель, которая, затем, оптимизируется в части угла наклона образующей расширяющейся части сопла (рис.1).

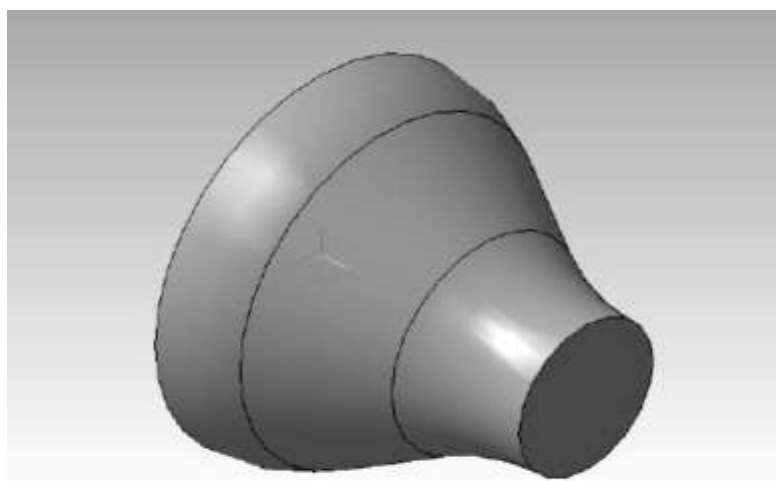


Рис.1 3-D модели для профилирования дозвуковой части сопла

Опираясь на исходные данные построенной модели, были определены необходимые геометрические параметры камеры сгорания и выбран оптимальный угол раскрытия конического сопла.

Другая группа специалистов [4], рассмотрев моделирование газодинамического тракта тарельчатого сопла жидкостного ракетного двигателя с обратным потоком в кольцевой камере сгорания, в полной мере использовали возможности 3-D моделирования. При проектировании камеры авторами были учтены газодинамические особенности течения и генерируемые тепловые потоки. Была проведена отработка передовых методов проектирования на основе современных цифровых технологий, результатом которой является 3D-модель полученной камеры.

В целом, практически все элементы ЖРД при проектировании претерпевают процессы 3-D-моделирования. Современные технические решения процессов проектирования позволяют сократить долю ручного труда, оптимизировать рабочие процессы, повысить точность проектирования, оптимизировать работу двигателя в дальнейшем.

#### **Библиографические ссылки:**

1. Ефанов Д.В., Осадчий Г.В. Энергоэффективные решения для систем управления на железнодорожном транспорте //Транспорт РФ. 2019. № 2. С. 16-21.
2. Землянов, Г.С., Ермолаева В.В. 3D-моделирование // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 186-189.
3. Комкова В.С., Ушков И.В. проектирование камеры жидкостного ракетного двигателя //Точная наука. 2020. № 69. С. 37-41.
4. Косовягин К.В., Скоморохов Г.И. Моделирование газодинамического тракта тарельчатого сопла жидкостного ракетного двигателя с обратным потоком в кольцевой камере сгорания // Вестник

Воронежского государственного технического университета. 2019. Т. 15. № 1. С. 100-106.

5. Мыльников Д. BIM-технологии в системе координат жизненного цикла здания // Connect. 2017. № 3. С. 64-68.

6. Скворцов А.В. Обзор международной нормативной базы в сфере BIM // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 2. С. 4-48.

7. Технология производства жидкостных ракетных двигателей / В.А. Моисеев и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 381 с.

8. Ярцев Е.Н., Назаров В.П., Теряев Н.С. Реализация автоматизированной системы изготовления трубопроводов в производстве ракетных двигателей// Сибирский журнал науки и технологий. 2017. Т. 18, № 3. С. 658-662.