

# Разработка параметрической 3D модели самолёта на этапе технических предложений для проведения физических экспериментов в аэродинамической трубе

М.В. Чивилев  
Факультет летательных аппаратов  
Самарский государственный  
аэрокосмический университет имени  
академика С.П. Королева (национальный  
исследовательский университет)  
Самара, Россия  
e-mail: pleasecallmekoctb@mail.ru

Н.М. Боргест  
Факультет летательных аппаратов  
Самарский государственный  
аэрокосмический университет имени  
академика С.П. Королева (национальный  
исследовательский университет)  
Самара, Россия  
e-mail: borgest@yandex.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

Разработана 3D модель самолёта на этапе технических предложений в системе автоматизированного проектирования (САПР) CATIA. На основе этой модели была получена твердотельная модель самолёта, адаптированная под параметры печати на 3D принтере. На основе распечатанной модели был проведён эксперимент в аэродинамической трубе. По результатам эксперимента были получены аэродинамические характеристики самолёта: поляр самолёта и зависимость коэффициента подъёмной силы от угла атаки.

## 1. Введение

Проектирование самолёта представляет собой сложный multidисциплинарный процесс, цель которого состоит в поиске рационального сочетания проектных параметров, которое наилучшим образом удовлетворяло бы поставленным задачам и выбранным критериям.

Этап разработки технических предложений (аванпроект, предварительное проектирование) играет особую роль в общем процессе проектирования самолёта. Занимая промежуточное положение между этапами разработки технического задания (ТЗ) и эскизного проектирования, этап разработки технических предложений (ТП) в значительной мере определяет выбор параметров и характеристик самолёта [1]. Следует отметить, что ранние стадии проектирования занимают около 10% трудозатрат, но при этом принимается большая часть решений при недостаточной или, наоборот, избыточной

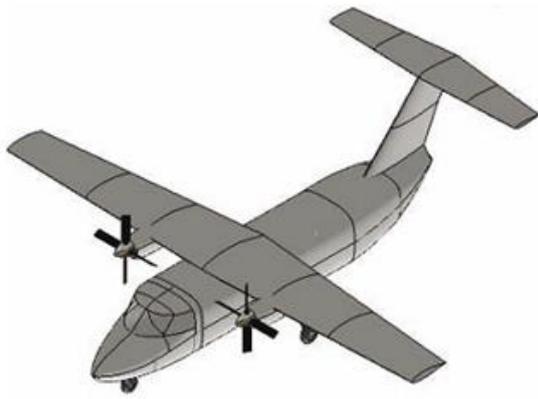
информации [1, 2]. Одной из важнейших задач на этапе разработки ТП является синтез облика самолёта, проработка его внутренней и внешней компоновки, когда необходимо в сжатые сроки проанализировать различные варианты схемных решений и при этом избежать принципиальных ошибок. Моделирование множества возможных допустимых вариантов вручную является очень трудоёмким процессом, а внесение изменений в них требует значительных временных затрат [3,4].

Параметрическое моделирование в среде промышленных САПР позволяет ускорить не только этап разработки ТП, но и значительно повлиять на последующие этапы, так как появляется возможность работы с одной моделью на протяжении практически всего цикла проектирования самолёта.

Геометрическая модель является главным источником информации, необходимой для проведения оптимизационных исследований по различным критериям. Эта модель позволяет на её основе в короткие сроки получать модели для аэродинамического, весового и прочностного анализов [5, 6].

Параметрическая 3D модель самолёта (рис. 1) является частью разрабатываемой на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов СГАУ интеллектуального помощника проектанта, условно названного «Робот-конструктор самолёта» [7]. Эта экспериментальная модель создана для отработки процесса автоматизации формирования облика самолёта. Модель не привязана к конкретному типу или проекту самолёта, на её основе можно построить практически любой проект самолёта классической схемы, используя выбранные или рассчитанные проектные параметры.

<sup>1</sup>Труды второй международной конференции "Интеллектуальные технологии обработки информации и управления", 10 - 12 ноября, Уфа, Россия, 2014



**Рис. 1. Параметрическая 3D модель самолёта**

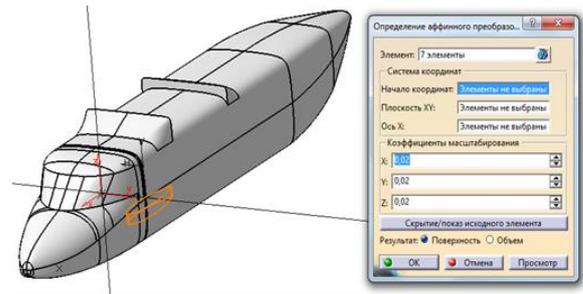
Целью данной работы является экспериментальное исследование аэродинамических характеристик самолёта на основе параметрической модели. Используя технические возможности современных 3D принтеров, имеются все необходимые условия не только для проведения всевозможных оптимизационных исследований, но и для экспериментальной проверки правильности расчётов этих исследований, путём получения твердотельной копии модели самолёта еще на ранних этапах проектирования.

## 2. Преобразование 3D модели

Для проведения эксперимента в аэродинамической трубе, необходимо созданную 3D модель адаптировать под требования печати на 3D принтере. Одним из главных требований является наличие твердотельной модели, имеющей некоторую толщину поверхности. Так как модель создана преимущественно в модуле поверхностного моделирования, то ей необходимо придать некоторый внутренний твердотельный объём. Также, с целью меньшего использования при печати основного материала (в силу его дороговизны) и возможности замены его материалом поддержки, модель разбивается на составляющие части и внутри фюзеляжа создаётся полость с толщиной стенки, обеспечивающей приемлемую прочность модели.

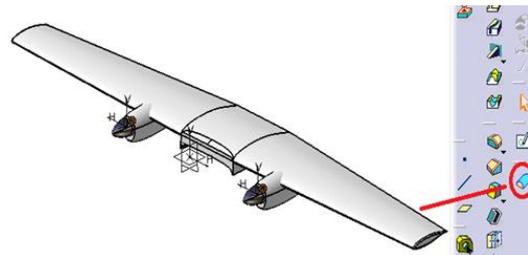
Рассмотрим основные этапы преобразования созданной параметризованной 3D модели самолета и подготовки ее для печати на 3D принтере:

1. Преобразование составляющих полноразмерной модели в масштаб 1:50. Для этого применяется инструмент «аффинное преобразование», где происходит масштабирование модели по осям X, Y и Z. На рис.2 представлен пример масштабирования модели фюзеляжа.
2. Декомпозиция модели самолета на отдельные модели агрегатов, из которых будет собрана (склеена) после печати физическая масштабированная модель самолета.



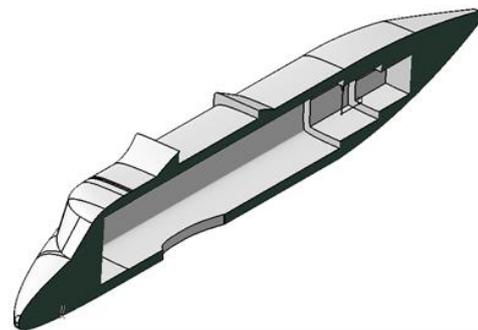
**Рис. 2. Масштабирование модели фюзеляжа**

3. Придание внутреннего твердотельного объёма всем составляющим частям самолёта с помощью инструмента «замыкание поверхности» (рис. 3).



**Рис. 3. Замыкание поверхности крыла**

4. Для более рационального использования материала при печати на 3D принтере, внутри фюзеляжа создаётся полость с толщиной стенки в центральной части 5 мм (рис. 4).
5. Создание необходимых конструктивно-технологических элементов и отверстий для крепления агрегатов (оперения шасси, стоек шасси) и пилона крепления модели к конусу тензовесов (рис. 4).



**Рис. 4. Создание полости и отверстий внутри фюзеляжа**

6. Создание пилона крепления к конусу тензовесов. В качестве профиля для пилона выбран профиль NACA 0014. Высота пилона 60 мм, хорда – 38 мм.
7. Создание кронштейна и обтекателя, закрывающего гайку на конусе тензовесов (рис. 5).



Рис. 5. Кронштейн крепления к конусу тензовесов

### 3. Печать на 3D принтере и проведение экспериментов

В результате перечисленных выше преобразований для подготовки к печати получили следующие составные части самолёта (рис. 6).

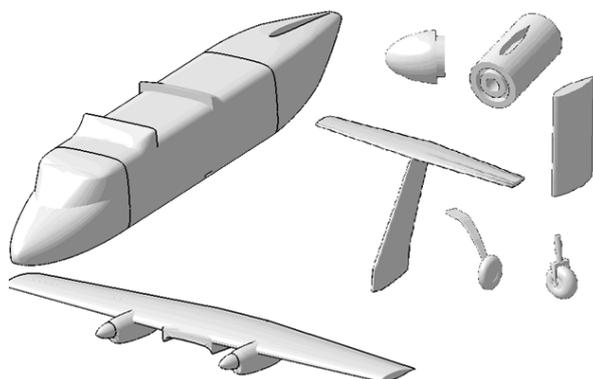


Рис. 6. Составные части самолёта

После отпечатки на 3D принтере и сборки (склейки) модели самолета был проведён физический эксперимент в аэродинамической трубе. Модель продувалась дважды: со стойками шасси и без стоек, что позволило оценить с точки зрения аэродинамики схему самолета с убирающимися и не убирающимися стойками шасси. Результаты обработки экспериментальных данных продувок модели в аэродинамической трубе кафедры КиПЛА СГАУ представлены на рис. 7-10.

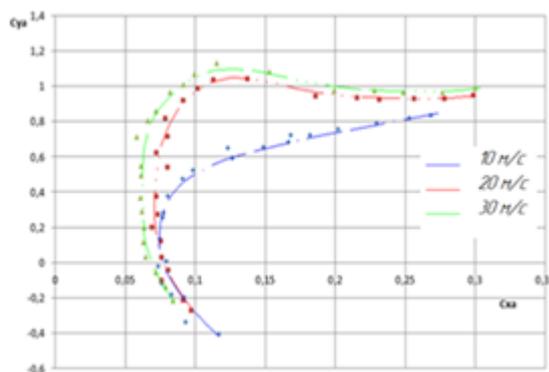


Рис.7. Полётные поляры модели самолёта без стоек шасси

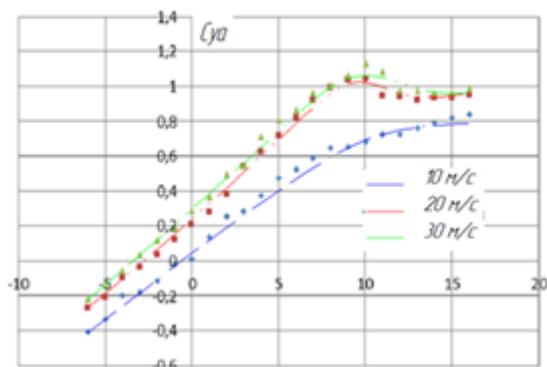


Рис. 8. Зависимость коэффициента подъёмной силы от угла атаки для модели самолёта без стоек шасси

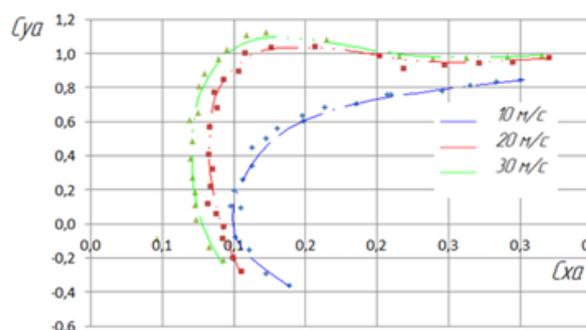


Рис.9. Полётные поляры модели самолёта со стойками шасси

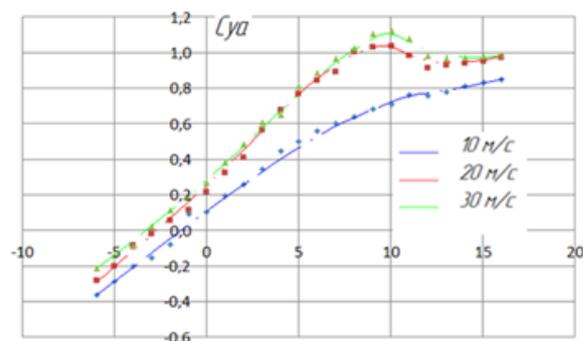


Рис. 10. Зависимость коэффициента подъёмной силы от угла атаки для модели самолёта со стойками шасси

### 4. Заключение

В рамках разработанной параметрической 3D модели самолёта была построена и напечатана твердотельная модель самолёта для местных воздушных линий. На основе распечатанной масштабированной модели самолета были проведены физические эксперименты в аэродинамической трубе с целью установления аэродинамических характеристик проекта самолёта. Направление дальнейшего развития работ по созданию интеллектуального помощника проектанта предполагает:

- формализацию и дальнейшую автоматизацию процесса адаптации параметризованной геометрической модели самолета под требования 3D печати;
- возможность вывода на печать детализированной 3D модели самолета для оценки, анализа и демонстраций: помимо внешних обводов печатать конструктивно-силовую схему самолета, объёмную компоновку, размещение пассажиров и грузов и т.д.

### **Список используемых источников**

1. Егер, С.М. «Основы автоматизированного проектирования самолётов». М.: Машиностроение, 1984.
2. Комаров В.А., Боргест Н.М., Вислов И.П., Власов Н.В, Козлов Д.М., Корольков О.Н, Майнсков В.Н. «Концептуальное проектирование самолёта». Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2011.
3. Ledermann, C. «Dynamic CAD objects for structural optimization in preliminary aircraft design». *Aerospace Science and Technology* 2005; 9: 601–610.
4. Черепашков, А.А. «Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении». Волгоград: Издательский дом «Ин-Фолио», 2009.
5. Ledermann C. «Associative parametric CAE methods in the aircraft pre-design» *Aerospace Science and Technology* 2005; 9: 641–651.
6. Hwang H.Y. «Multidisciplinary aircraft design and evaluation software integrating CAD, analysis, database, and optimization» *Advances in Engineering Software* 2006; 37: 312–326.
7. Боргест Н.М., Громов А.А., Громов А.А. и др. «Робот-проектант: фантазия и реальность». *Онтология проектирования* 2012; 4:73-95.