



# OSTIS-2015

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.822:514

## ПОДХОД К ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ САМОЛЕТА

Боргест Н.М., Коровин М.Д., Спирина М.О.

*Самарский Государственный Аэрокосмический Университет имени академика С.П.Королева  
(национальный исследовательский университет), г. Самара, Россия*

**borgest@yandex.ru**

**maks.korovim@gmail.com**

**maryspirina@gmail.com**

В статье рассматривается подход к автоматизации процесса предварительного проектирования самолета на основе параметризованных CAD-моделей, связанных с внешними базами данных проектных параметров и процедур. Обосновывается необходимость разделения моделей и баз данных для реализации модульной архитектуры программной составляющей разрабатываемых автоматизированных систем на примере робота-проектанта самолета.

**Ключевые слова:** проектирование, автоматизация, трехмерная модель, параметризация.

### Введение

Предварительное проектирование самолета – ответственный этап в процессе формирования облика будущего изделия, на котором определяются компоновка и основные проектные параметры, используемые в качестве исходных данных на последующих этапах проектирования. Различие в точности методов расчета, применяемых на разных этапах проектирования – от статистических формул на начальных этапах расчета к высокоточным методам математического моделирования на основе CAE и CFD расчета, обусловлено тем, что исходных данных, доступных проектанту на начальном этапе, обычно недостаточно для построения трехмерной CAD модели, необходимой для точного моделирования.

Задача формирования облика будущего самолета на ранних этапах проектирования может быть решена путем создания параметризованных моделей, связанных с базами данных проектных параметров и процедур, созданных на основе накопленных знаний в предметной области [Lazzara и др., 2009].

### 1. Виды параметризации

В современных CAD/CAM-системах среднего и высокого уровня имеются средства параметризации компьютерных моделей объектов проектирования.

Идея параметризации компьютерной модели детали, заключается в следующем: так как объект конструирования постоянно меняется (возникают новые идеи, выявляются ошибки, меняются условия и факторы, приводящие к изменению конструкции), необходимо описать конструкцию объекта набором размерных характеристик, определяющих геометрию объекта, условия взаимосвязей и взаимоотношений отдельных элементов между собой. При этом набор параметров, описывающих способ построения геометрии объекта, не совпадает с набором параметров, определяющих функционирование и изготовление объекта конструирования. Параметризация конструкции заключается в создании алгоритма, который должен обеспечивать синтез конструкции из отдельных геометрических элементов (метод твердотельного моделирования), возможность модификации конструкции в определенном диапазоне, описывать законы функционирования конструкции, отражать определенную технологию ее изготовления. Подобные задачи, сложны даже для относительно простых устройств, например, таких, как технологическая оснастка (приспособления, штампы, пресс-формы). Однако, уровень развития современных CAD систем и прогресс в области вычислительной техники позволяют формализовывать всё более сложные инженерные процессы, обеспечивая инструментарий для создания всё более сложных параметризованных моделей. Ниже приведены некоторые наиболее

распространенные типы параметризации CAD моделей, применяемых в проектной деятельности.

### 1.1. Табличная параметризация

При использовании табличной параметризации создание нового экземпляра детали производится путём выбора из таблицы типоразмеров. Возможности этого типа параметризации ограничены, поскольку задание произвольных новых значений параметров и геометрических отношений обычно невозможно. Табличная параметризация находит широкое применение во всех параметрических САПР, так как позволяет существенно упростить и ускорить создание библиотек стандартных и типовых деталей, а также их применение в процессе конструкторского проектирования [Малюх, 2010].

### 1.2. Иерархическая параметризация

Параметризация на основе истории построений. В ходе построения модели вся последовательность построения отображается в отдельном окне в виде «дерева построения». В нем перечислены все существующие в модели вспомогательные элементы, эскизы и выполненные операции в порядке их создания.

Помимо «дерева построения» модели, система запоминает не только порядок её формирования, но и иерархию её элементов. Параметризация на основе истории построений присутствует во всех САПР, использующих трёхмерное твердотельное параметрическое моделирование. Такой тип параметрического моделирования обычно используется совместно с вариационной и/или геометрической параметризацией [Норенков, 2002].

### 1.3. Вариационная параметризация

Вариационная или размерная параметризация основана на построении эскизов с наложением на объекты эскиза различных параметрических связей и наложении пользователем ограничений в виде системы уравнений, определяющих зависимости между параметрами. Вариационная параметризация позволяет легко изменять форму эскиза и величину параметров операций, что позволяет удобно модифицировать трёхмерную модель [Малюх, 2010].

### 1.4. Геометрическая параметризация

Параметрическое моделирование, при котором геометрия каждого параметрического объекта рассчитывается в зависимости от положения родительских объектов, его параметров и переменных.

Параметрическая модель, в случае геометрической параметризации, состоит из элементов построения и элементов изображения. Элементы построения задают параметрические связи. К элементам изображения относятся линии изображения, а также элементы оформления.

Геометрическая параметризация является наиболее сложной в осуществлении, однако её функциональные возможности делают её предпочтительной при создании сложных параметризованных моделей [Голованов, 2002].

## 2. Робот-проектант

Внедрение автоматических систем — это сложный и дорогой процесс, иногда требующий значительных затрат времени, однако автоматизация часто возникающих типовых задач способна значительно повысить временную и экономическую эффективность работы проектанта.

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

Робот-проектант — это компьютер с периферийными устройствами, инструментарии, включающие в себя речевые программы, языки описания, СУБД, CAD системы, редакторы онтологий, и база знаний, как совокупность тезауруса, баз данных, правил и процедур, со сценариями проектирования [Боргест, 2012].

Результатом работы робота-проектанта является модель изделия. Она состоит из 2 взаимосвязанных частей — матрицы проекта с логикой расчета (в текущем варианте выполненной на основе таблиц MS Excel) и параметризованной трехмерной модели, которая автоматически меняет собственную конфигурацию в зависимости от данных, содержащихся в матрице проекта [Боргест и др., 2012].

Задача аналитического проектирования самолета требует построения математической модели изделия, которая характеризуется:

- совокупностью внешних параметров (требования технического задания на проект самолета: масса и другие параметры полезной нагрузки; потребная дальность полета; крейсерская скорость; класс аэродрома базирования и, соответственно, длина и ширина взлетно-посадочной полосы, её характеристики; категория и параметры системы автоматической посадки на аэродроме базирования и т. д.);
- совокупностью внутренних параметров (параметры самолета, определяемые в процессе решения задачи: прежде всего, взлетная масса, удельная нагрузка на крыло, стартовая тяговооруженность, аэродинамические характеристики, размеры самолета и его агрегатов, состав и параметры систем и т. д.),
- целевой функцией (критерием или критериями эффективности), позволяющей выбрать среди альтернативных проектов лучший, обеспечивающий экстремальное значение целевой функции [La Rocca и др., 2009].

Робот-проектант имеет модульную схему – отдельные подзадачи (например, определение удлинения крыла или его массы) решаются отдельными подпрограммами, выполнение которых инициируется роботом по заданной логике [Borgest и др., 2015].

Опыт разработки автоматизированной системы управления расчетом сложных объектов показал, что практическая реализация системы сводится к решению следующих задач:

- разработка базы данных для хранения необходимых параметров в процессе расчета;
- создание базы данных проектных решений, используемых для преобразования записей базы данных параметров в команды для построения CAD моделей;
- разработка графического интерфейса пользователя;
- разработка параметризованных CAD моделей;
- организация взаимодействия между клиентской и серверной частями;
- формирование исходных данных на входном языке базового программного средства;
- управление базовым программным средством;
- графическое отображение параметров и структуры модели.

Разделение геометрической модели и баз данных позволяет вносить изменения в алгоритм расчета и способы построения моделей, не затрагивая систему в целом, что позволяет реализовать модульный принцип построения системы. Модульная структура вычислительной подсистемы позволяет реализовать возможность выбора среди нескольких методов расчета, а также при необходимости комбинировать их.

Необходимость реализации отдельной базы данных проектных решений обусловлена особенностями процесса проектирования самолета, в частности, различиями в эвристических решениях, применяемых при проектировании самолётов различного назначения. Так, например, близкие по относительным параметрам носовые части фюзеляжей тяжелого и легкого самолетов, могут в значительной мере отличаться по конструкции и применяемым проектным решениям, как показано на рисунке 1.

Совокупность используемых в решении конкретной задачи расчетных модулей формирует сценарий расчета. Он зависит от типа решаемой задачи, степени вовлеченности человека в процесс работы робота-проектанта, а также от выбранного метода расчета. Стоит отметить, что в рамках выбранного проектного решения модель может претерпевать значительные изменения при корректировке соответствующих параметров. Например, после выбора и утверждения конфигурации центральной части фюзеляжа тяжелого транспортного самолета, модель может

изменяться в широком диапазоне проектных параметров, таких как шаг расположения продольных и поперечных элементов каркаса как показано на рисунке 2.

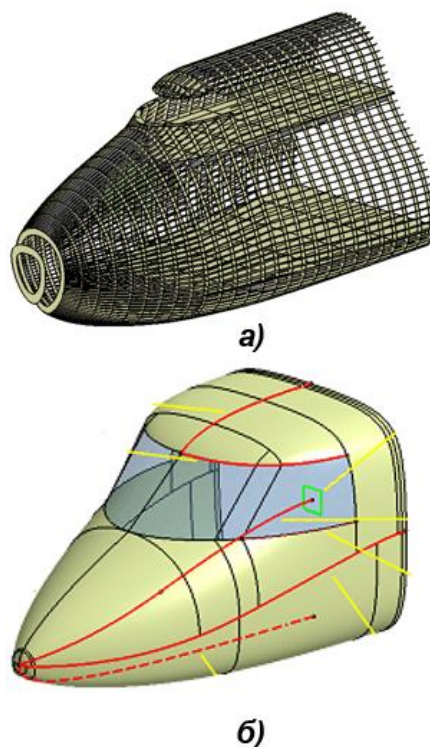


Рисунок 1 – Модель носовой части тяжелого (а) и легкого (б) самолета

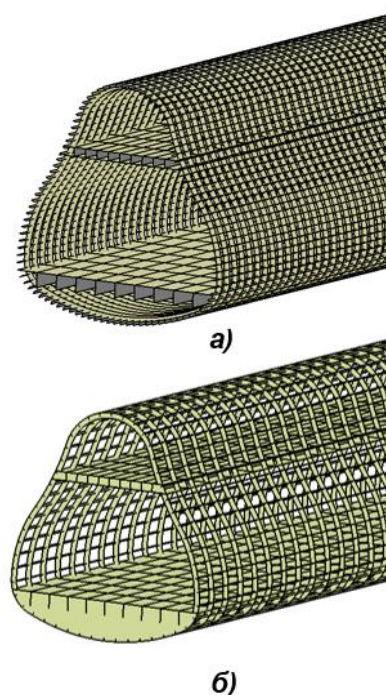


Рисунок 2 – Модели центральной части фюзеляжа тяжелого самолета с разным шагом расположения элементов каркаса

## Заключение

В статье описаны современные подходы к параметризации трехмерных моделей. Выделен метод геометрической параметризации как

обладающий наибольшими функциональными возможностями. Описана организация базы данных трехмерной модели самолета в рамках работа-проектанта, программно-аппаратного комплекса автоматизации процесса предварительного проектирования самолета. Отмечена необходимость создания отдельных баз данных проектных параметров и баз проектных решений для реализации модульной схемы работа-проектанта.

Работа выполняется при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

## Библиографический список

[Anderson и др., 2012] G. R. Anderson, M. J. Aftosmis, M. Nemec // Seventh International Conference on Computational Fluid Dynamics (ICCFD7) Big Island, Hawaii, July 9-13, 2012

[Borgest и др., 2015] Borgest N.M., Korovin M.D., Gromov A.A., Gromov A.I.A. The Concept of Automation in Conventional Systems Creation Applied to the Preliminary Aircraft Design // Soft Computing in Computer and Information Science, Springer International Publishing Switzerland, 2015, DOI 10.1007/978-3-319-15147-2\_13

[La Rocca и др., 2009] La Rocca, G., Van Tooren, Knowledge-based engineering approach to support aircraft multidisciplinary design and optimization. J. Aircr. 46(6), 1875–1885 (2009)

[Lazzara и др., 2009] Lazzara, D.S., Haimes, R., Willcox, K.: Multifidelity geometry and analysis in aircraft conceptual design. In: 19th AIAA Computational Fluid Dynamics 22–25 June 2009, San Antonio, 207 Texas (2009)

[Боргест, 2012] Боргест Н.М., Робот-проектант: фантазия и реальность. // Научный журнал «Онтология проектирования» №4(6), 2012. — с. 73-94.

[Боргест и др., 2012] Боргест Н.М., Чернов Р.В., Шустова Д.В. Разработка интерфейса интеллектуального помощника проектанта / Н.М. Боргест, Р.В. Чернов, Д.В. Шустова // материалы международной научно-технической конференции OSTIS-2012. БГУИР. 2012

[Голованов, 2002] Голованов Н.Н., Геометрическое моделирование. — М.: Физматлит, 2002.- 472с.

[Малюх, 2010] Малюх В.Н., Введение в современные САПР: Курс лекций. — М.: ДМК Пресс, 2010.- 162с..

[Норенков, 2002] Норенков И.П., Основы автоматизированного проектирования. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. . - 336с.

## APPROACH TO THE PARAMETRIZATION OF THREE-DIMENSIONAL MODELS FOR SOLVING THE TASK OF THE AIRCRAFT PRELIMINARY DESIGN AUTOMATION

Borgest N.M., Korovin M.D., Spirina M.O.

*Samara State Aerospace University,  
Samara, Russia*

**borgest@yandex.ru**

**maks.korovim@gmail.com**

**maryspirina@gmail.com**

In article approach to automation of process of preliminary design of the airplane on the basis of the parameterized CAD-models connected with external databases of design parameters and procedures is considered. Need of division of models and databases for realization of modular architecture of a program component of the robot designer of the plane locates.

## Introduction

Preliminary design of the airplane – one of the most responsible stages of process of formation of shape of future product on which configuration and the key design parameters which are used as basic data at the latest design stages are defined. However, until now there is a gap in the accuracy of the methods of calculation applied at different design stages – from rough statistical formulas at the initial stages of calculation to high-precision methods of mathematical modeling on the basis of CAE and CFD calculation. Emergence of this gap is caused by that the basic data available to the designer at the initial stage of calculation, is usually not enough for construction three-dimensional CAD the model necessary for exact modeling.

The problem of formation of shape of future airplane at early design stages can be solved by creation of the parametrized models connected with databases of the design parameters and procedures created on the basis of the accumulated knowledge in subject domain.

## Main Part

Division of geometrical model and databases allows making changes to algorithm of calculation and ways of creation of models without affecting system in general that allows to realize the modular principle of creation of system. The modular structure of a computing subsystem allows to realize possibility of a choice among several methods of calculation, and if necessary to combine them.

Need of realization of a separate database of design decisions is caused by features of process of design of the airplane, in particular, distinctions in the heuristic decisions applied at design of planes of different function. Therefore, for example, relatives in relative parameters nasal parts of fuselages of heavy and light airplanes can differ considerably on a design and the applied design decisions. Set of the settlement modules used in the solution of a specific objective forms the scenario of calculation. It depends on type of the solved task, degree of an involvement of the person into process of operation of the robot designer, and on the chosen calculation method.

It should be noted that within the chosen design decision the model could undergo considerable changes at adjustment of the corresponding parameters.

## Conclusion

In article modern approaches to parametrization of three-dimensional models are described. The method of geometrical parametrization as possessing the greatest functionality is allocated. The organization of a database of three-dimensional model of the aircraft within the robot designer, hardware and software system automate the process of preliminary design of the aircraft is described. Need of creation of separate databases of design parameters and bases of design decisions for implementation of the modular scheme of the robot designer is marked out.