

УДК 629.7.01

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ 3D МОДЕЛИ САМОЛЁТА НА ЭТАПЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

© 2012 Н. М. Боргест¹, Р. Х. Алеев¹, П. А. Аксаян², А. А. Громов¹¹Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)²ОАО «Авиакор – авиационный завод», г. Самара

Рассматриваются вопросы автоматизации построения 3D модели облика самолёта на этапе технических предложений. Представлены результаты разработанной параметрической 3D модели самолётов традиционных схем в системе автоматизированного проектирования (САПР) CATIA с изменяемыми параметрами основных агрегатов самолёта. Основное внимание уделено построению внешней и внутренней компоновки самолёта, определению предварительной конструктивно-силовой схемы основных агрегатов самолёта и согласованию её с компоновочными решениями в автоматическом режиме.

Самолёт, проектирование, САПР, CATIA, параметрическая 3D модель самолёта, UDF, исходная матрица проекта, компоновка.

Введение

Проектирование самолёта представляет собой сложный многодисциплинарный 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, 2]. Следует отметить, что ранние стадии проектирования занимают около 10% трудозатрат, но при этом принимается до 80% решений при недостаточной или, наоборот, избыточной информации [1, 3]. 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 [4, 5].

Параметрическое моделирование в промышленных САПР позволяет ускорить не только этап разработки ТП, но и значительно повлиять на последующие этапы, т.к. 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, т.к. позволяет на её основе в короткие сроки получать модели для аэродинамического, весового и прочностного анализов [6, 7] (рис. 1).

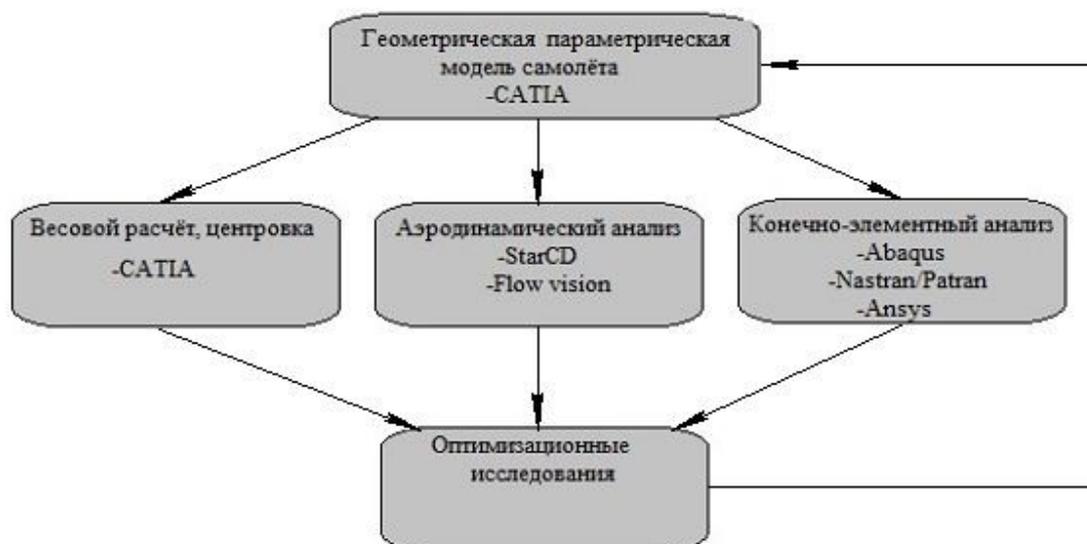


Рис. 1. Взаимосвязи между различными моделями

Цель исследования

Целью исследования является разработка параметрической 3D модели гражданского самолёта, позволяющей проектировщику проводить целенаправленную модификацию проекта самолёта в автоматическом режиме, в результате чего выполнялось бы адекватное и непротиворечивое преобразование облика 3D модели самолёта, и осуществлять параметрический анализ чувствительности проекта к изменению вариантов схемных решений, проектных параметров и проектных ограничений.

Анализ публикаций [4, 6, 7, 12-15] показывает, что, несмотря на большое количество работ по автоматизации проектирования самолётов, в них недостаточно проработаны либо отсутствуют вовсе процедуры автоматического формирования трёхмерной модели облика самолёта в среде промышленных САПР на ранних этапах проектирования. Отсутствие общепринятых стандартов в данной предметной области осложняет решение данной задачи [8]. Традиционно проектные работы в этой области ведутся с применением опыта и эрудиции проектировщиков с частичным применением программных комплексов с целью анализа уже принятых решений.

Параметрическая 3D модель самолёта

Параметрическая 3D модель самолёта (рис. 2) является частью разрабатываемой на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов СГАУ интеллектуального помощника проектанта, условно названного «Робот-конструктор самолёта» [9]. 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.

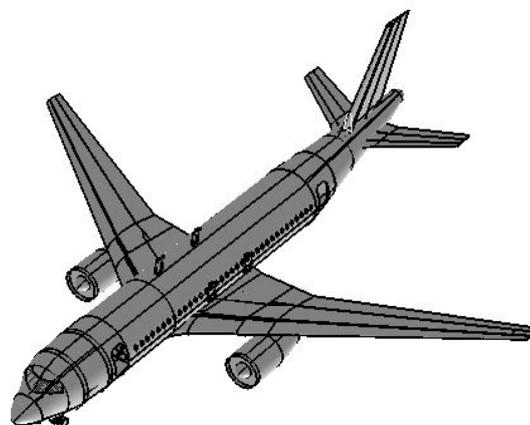


Рис. 2. Параметрическая 3D модель самолёта

Представленная параметрическая 3D модель самолёта была создана в системе CATIA V5 R19, являющейся современной САПР с последовательной объектно-ориентированной архитектурой. Набор имеющихся в ней инструментов, арсенал которых включает возможность формулировки правил взаимосвязи параметров, проверку накладываемых условий проектирования и создание аналитических зависимостей для автоматической реализации функций проектирования, позволяет создавать сложные параметрические модели объектов, в том числе частей самолёта в виде шаблонов.

Шаблон в понятиях CATIA представляет собой структуру построений, определяемую проектировщиком, геометрические параметры которой зависят от накладываемых условий, правил и ограничений. При использовании шаблонов проектировщику требуется лишь ввести входные данные. На их основе строятся элементы или целые конструкции по заложенным в них алгоритмам, генерируя результат, который можно использовать в дальнейшем проектировании [10]. Шаблоны дают возможность однажды создан-

ные алгоритмы применять повторно к другим построениям, получая при этом новый результат.

В представленной работе в качестве инструмента автоматизации использовались шаблоны типа UDF (User-Defined Feature), которые представляют собой особый вид примитивов САПР CATIA, внутри которых может находиться любое количество деревьев построения, связанных с любым количеством средств автоматизации CATIA. Например, это могут быть несколько наборов данных с формулами, правилами и реакциями на события, которые в UDF будут представлены одним элементом и несколькими примитивами вывода результатов работы шаблона со своими деревьями параметров и персональными диалоговыми окнами [10]. На рис. 3 представлен пример автоматизированного построения силового набора крыла при помощи UDF шаблона.

Построенный в модели силовой набор крыла отражает заложенные в неё знания конструктора о типовых решениях, используемых в данном классе самолетов.

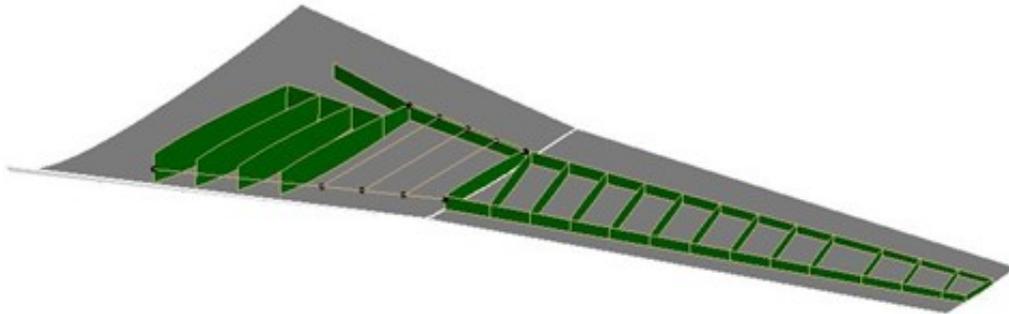


Рис. 3. Пример построения силового набора крыла при помощи UDF шаблона в разработанной модели

Исходная матрица проекта самолёта

Исходная матрица проекта в конечном итоге представляет собой табличный файл MS Excel, в который занесены все проектные параметры самолёта и сценарии, необходимые для автоматизации построения модели, т.е. набор таблиц со значениями геометрических и иных параметров самолётов. Главным преимущест-

вом при использовании таких таблиц проектировщиком является то, что от него не требуется никаких особых навыков работы в конкретной CAD системе. Все геометрические параметры 3D модели самолёта управляются и изменяются через интерфейс MS Excel в автоматическом режиме. На рис. 4 представлен фрагмент исходной матрицы проекта для внешней геометрии крыла.

	A	B
1	Размах крыла l (m)	18,350
2	Площадь крыла S (m ²)	39,600
3	Удлинение крыла λ	8,500
4	Эффективное удлинение крыла $\lambda_{эф}$	7,010
5	Сужение крыла η	1,654
6	Угол стреловидности крыла по передней кромке χ (deg)	0,000
7	Угол стреловидности крыла по линии четверти хорд χ (deg)	0,000
8	Угол поперечного V крыла Ψ (deg)	0,000
9	Длина излома крыла (m)	2,753
10	Угол установки крыла (deg)	0,000
11	Длина центральной хорды крыла b_0 (m)	2,520
12	Тип аэродинамического профиля в центральном сечении (напишите номер по списку из каталога)	19,000
13	Наличие излома крыла (1-да, 2-нет)	2,000
14	Относительная длина излома крыла	0,300
15	Относительная толщина профиля в центральном сечении	0,170
16	Длина хорды первого промежуточного сечения (m)	2,220
17	Тип аэродинамического профиля в первом промежуточном сечении (напишите номер по списку из каталога)	19,000
18	Относительная толщина профиля в первом промежуточном сечении	0,170
19	Геометрическая крутка первого промежуточного сечения крыла (deg)	0,000
20	Относительное расстояние до первого промежуточного сечения крыла (относительно полуразмаха крыла)	0,300
21	Длина хорды второго промежуточного сечения (m)	1,872
22	Тип аэродинамического профиля во втором промежуточном сечении (напишите номер по списку из каталога)	19,000
23	Относительная толщина профиля во втором промежуточном сечении	0,170
24	Относительное расстояние до второго промежуточного сечения крыла (относительно полуразмаха крыла)	0,650

Рис. 4. Фрагмент исходной матрицы проекта внешней геометрии крыла самолёта

Исходная матрица проекта представляет собой набор файлов:

- файл данных о каркасах крыла, оперения и фюзеляжа. В нём хранится информация о геометрии силового набора самолёта: количество силовых элементов и их шаги, типы профилей и их размеры и т.д.;

- файл данных о компоновке пассажирского салона и грузового отсека. В нём хранится информация о количестве кресел в ряду, шаге между рядами, соотношении длин пассажирских кабин разных классов, количестве грузовых контейнеров и т.д.;

- файл данных о внешних обводах самолёта. Данные в нём можно разделить на абсолютные и относительные. В абсолютном виде определяются (задаются или рассчитываются) лишь площадь крыла $S_{кр}$ и диаметр миделевой части фюзеляжа $D_{мф}$, либо эквивалентный диаметр $D_{экв}$. Все остальные данные задаются или определяются в относительном виде. К ним относятся: удлинение крыла $\lambda_{кр}$, сужение крыла $\eta_{кр}$, угол стреловидности крыла $\chi_{кр}$,

относительные плечи горизонтального и вертикального оперения и др. Абсолютные значения геометрических параметров самолёта доопределяются, исходя из рассчитанных на предыдущих этапах значений $S_{кр}$ и $D_{мф}$ и выбранных или оптимизированных относительных параметров. В данном блоке также содержатся база аэродинамических профилей крыла и оперения, значения их геометрических параметров;

- файл высотно-скоростных характеристик двигателей;

- файл предварительных аэродинамических характеристик проекта самолёта;

- файл весовой сводки проекта самолёта.

Внешняя геометрия самолёта

Внешняя геометрия зачастую оптимизируется исходя из соображений аэродинамики, вследствие чего требуется довольно высокая чувствительность модели

к изменениям геометрических параметров.

Модель внешней геометрии содержит более 200 параметров (позиции, длины, углы, плечи, отношения), а также многочисленные элементы, входящие в пользовательские библиотеки (типы аэродинамических профилей, каталоги колёс опор шасси). Проектные параметры можно варьировать одновременно либо по отдельности, согласно predetermined конфигурации самолёта и выбранному критерию эффективности (для большин-

ства случаев на данном этапе проектирования таким критерием является взлётная масса самолёта).

В частности, на примере крыла, внешняя геометрия определяется четырьмя сечениями (рис. 5):

- b_0 - центральное сечение крыла - часть крыла, скрытая в фюзеляже;
- b_1 - первое промежуточное сечение крыла;
- b_2 - второе промежуточное сечение крыла;
- b_k - концевое сечение крыла.

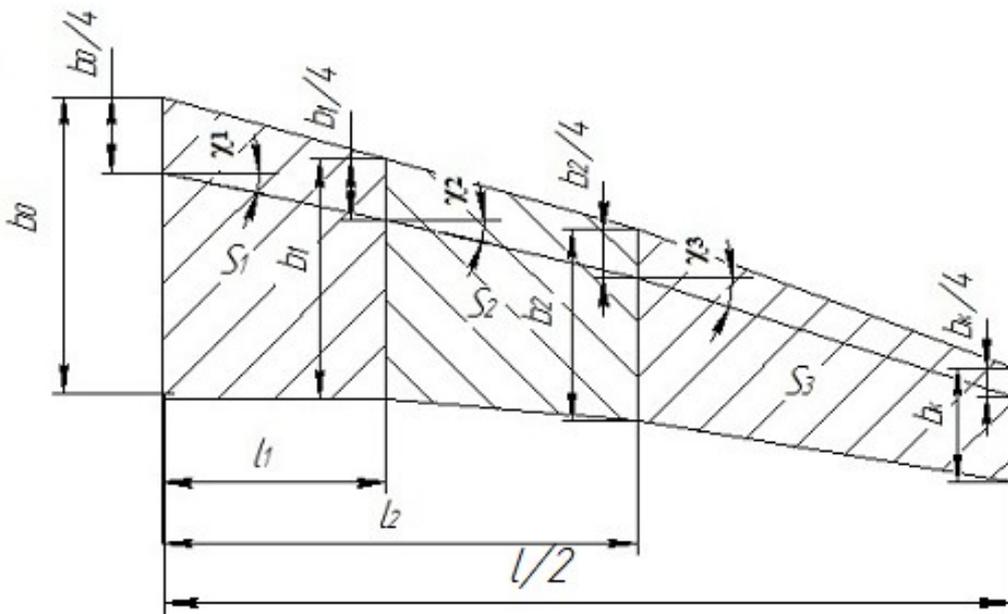


Рис. 5. Внешняя геометрия крыла в плане

Каждое сечение профиля описывается следующими параметрами: тип аэродинамического профиля, его расположение по размаху l_i , местная хорда b_i , геометрическая крутка, угол стреловидности по линии четверти хорд $\chi_{1/4}$. В свою очередь, местные хорды крыла вычисляются автоматически в зависимости от заданных проектировщиком или оптимизированных значений удлинения $\lambda_{кр}$ и сужения $\eta_{кр}$ крыла.

Информация о параметризованных аэродинамических профилях хранится в отдельно созданном пользовательском каталоге, что облегчает совместную раз-

работку проекта, поскольку они могут быть доступными для других пользователей и/или процессов. Во время генерации поверхности крыла используются сценарии базы знаний, созданных в САПР САТИА, позволяющие автоматически получить доступ к библиотеке профилей крыла и оперения и задать им соответствующие параметры.

На рис. 6 в качестве примера показаны модели крыла самолёта с круткой и без, а на рис. 7 представлены различные конфигурации внешней геометрии самолёта, созданные из одной модели.

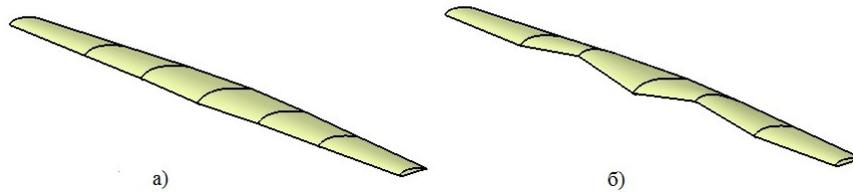


Рис. 6. Геометрические модели крыла самолёта: а – без крутки; б – с круткой

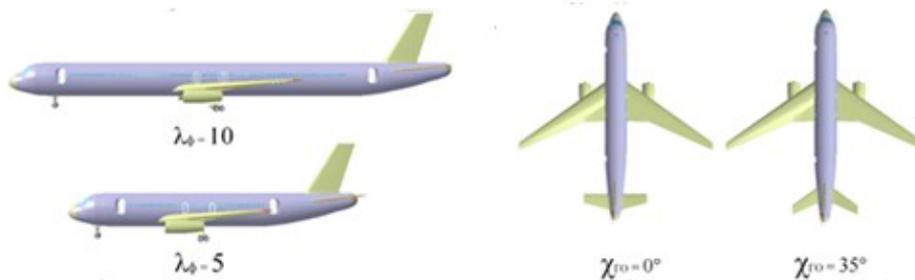


Рис. 7. Примеры различных конфигураций внешней геометрии модели самолёта

Компоновка самолёта

Важным этапом проектирования является создание модели распределения внутреннего пространства. Необходимость размещения заданного числа пассажиров, служебно-бытовых помещений, элементов каркаса, различных систем и оборудования делает задачу многовариантной, а сам процесс компоновки трудоёмким.

Эта проблема была решена с помощью создания библиотек типовых элементов и средств работы с базами знаний (Knowledge Advisor) в системе САПР, которые позволяют реализовать автоматическую увязку элементов внутренней структуры с теоретическими обводами агрегатов самолёта.

Процесс компоновки включает в себя выбор оптимальных геометрических параметров и размеров элементов конструкции. С целью ускорения этого процесса были созданы параметрические шаблоны типовых элементов конструкции – лонжероны, рядовые и силовые шпангоуты, нервюры, стрингеры, продольные и поперечные балки пола. Все сопрягаемые элементы при этом завязаны между собой ассоциативной связью. На рис. 8 представлен фрагмент подборки параметри-

ческих шаблонов элементов каркаса фюзеляжа в регулярной зоне.

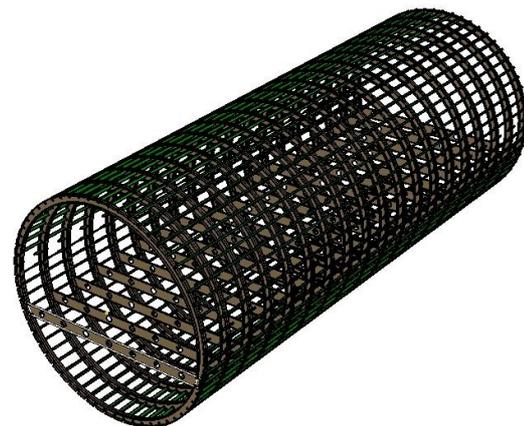


Рис. 8. Подборка параметрических шаблонов элементов каркаса фюзеляжа самолёта в разработанной модели

Пассажирская кабина самолёта во многом определяет его размеры и, следовательно, аэродинамические, массовые и технико-экономические характеристики. Диаметр фюзеляжа $D_{мф}$ выбирается из условий получения минимального миделевого сечения $S_{ф}$ и выполнения важнейших компоновочных требований в зависимости от варианта компоновки (класса пассажирского салона), высоты пассажирского салона и высоты багажных отсеков, расположенных под ним [1, 2, 11] (рис. 9, 10).

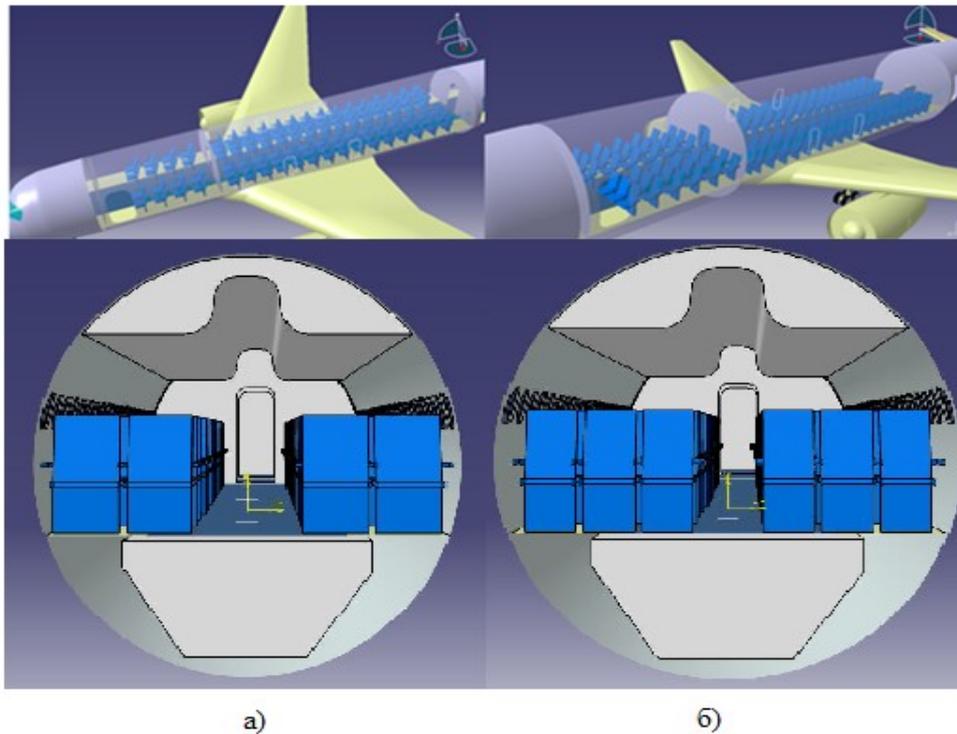


Рис. 9. Примеры компоновок пассажирского салона в разработанной 3D модели:
 а – 4 кресла в ряду и 4 ряда в бизнес-классе; б – 6 кресел в ряду и 6 рядов в бизнес-классе

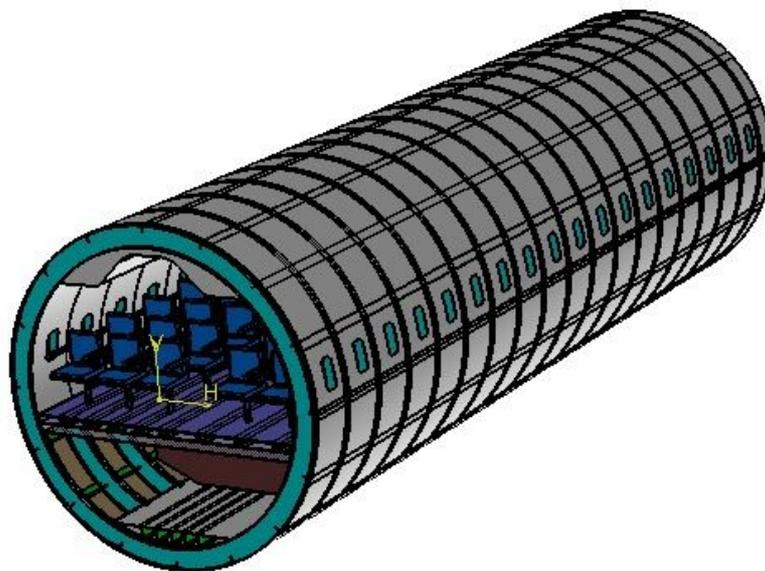


Рис. 10. Фрагмент модели распределения внутреннего пространства фюзеляжа
 в разработанной 3D модели

На заключительном этапе создаются сборочные модели агрегатов самолёта. В качестве примера на рис. 11 представлены параметрические сборочные модели агрегатов самолёта. Ассоциативные связи и параметризация всех элементов позволя-

ют значительно ускорить процесс проектирования, дают возможность уточнить конструктивно-силовые схемы агрегатов и в результате провести расчёт массы и спрогнозировать дальнейшие технологические особенности самолёта.

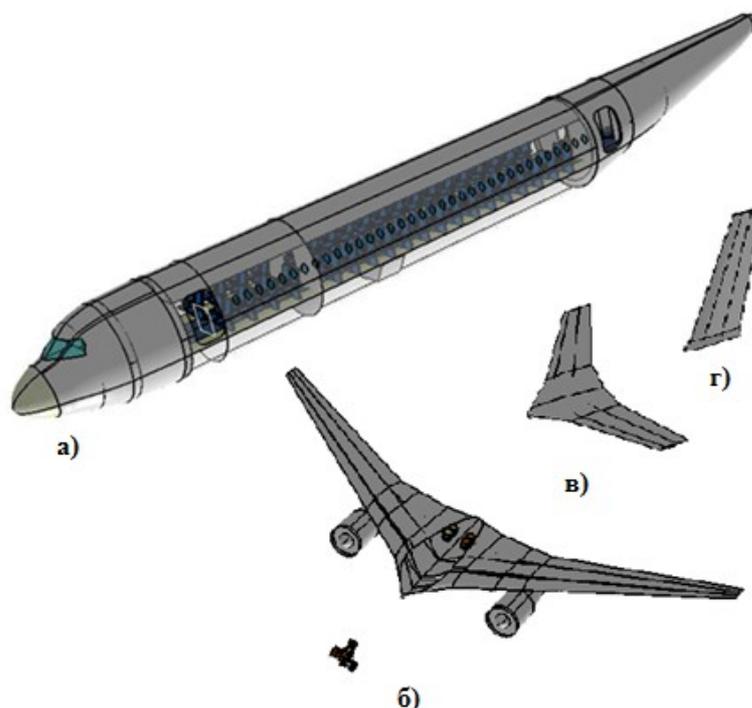


Рис. 11 Сборочные модели агрегатов самолёта:
а - сборочная модель фюзеляжа; б - сборочная модель крыла, двигателей и шасси;
в - сборочная модель горизонтального оперения; г - сборочная модель вертикального оперения

Заключение

В рамках разрабатываемого на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва программного комплекса автоматизированного проектирования самолёта традиционной схемы в среде промышленной САПР CATIA построена 3D модель самолёта.

Дальнейшее развитие программного комплекса предполагает:

- более подробную проработку параметрической 3D модели: формализация процесса формирования конструктивно-силовых схем агрегатов самолёта, модели распределения внутреннего пространства и компоновки самолёта;
- совершенствование расчётов масс агрегатов самолёта;
- развитие баз знаний конструктора, моделирующих реальную обстановку на этапе эскизного проектирования;
- подготовку модели к оптимизационным исследованиям.

Библиографический список

1. Егер, С. М. Основы автоматизированного проектирования самолётов [Текст] / С. М. Егер, Н. К. Лисейцев, О. С. Самойлович. – М.: Машиностроение, 1984. – 232 с.
2. Машиностроение. [Текст]: энциклопедия / ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др.; Самолёты и вертолёты. Т. IV-21; Проектирование, конструкции и системы самолётов и вертолётов. Кн.2 / А. М. Матвеев, А. И. Акимов, М. Г. Акопов [и др.]; под общ.ред. А. М. Матвеев. - М.: Машиностроение, 2004. – 752 с.
3. Концептуальное проектирование самолёта [Текст]: учеб. пособие / [С. М. Комаров и др.]. - Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2011. - 140 с.
4. Ledermann, C. Dynamic CAD objects for structural optimization in preliminary aircraft design [Text] / C. Ledermann, P. Ermanni, R. Kelm // Aerospace Science and Technology. - 2005. - № 9. - P. 601–610.
5. Черепашков, А. А. Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машино-

строении [Текст] / А. А. Черепашков, Н. В. Носов. – Волгоград: Издательский дом «Ин-Фолио», 2009. – 640 с.

6. Associative parametric CAE methods in the aircraft pre-design [Text] / C. Ledermann, C. Hanske, J. Wenzel [et al.] // Aerospace Science and Technology. - 2005. - № 9. - P. 641–651.

7. Multidisciplinary aircraft design and evaluation software integrating CAD, analysis, database, and optimization [Text] / H. Y. Hwang, K. J. Jung, I. M. Kang [et al.] // Advances in Engineering Software. - 2006. - № 37. - P. 312–326.

8. Шенг, Х. Правильный подход к использованию 3D программ на машиностроительных предприятиях [Текст] / Х. Шенг // САПР и графика. – 2012. - №4. - №4. – 97 с.

9. Боргест, Н. М. Разработка интерфейса интеллектуального помощника проектанта [Текст] / Н. М. Боргест, Р. В. Чернов, Д. В. Шустова // Материалы международной научно-технической конференции OSTIS-2011. - Минск: БГУИР, 2011. - С.21-58.

10. Возможности автоматизации моделирования в САТИА: специальные инструменты и их возможности

[Электронный ресурс] / <https://docs.google.com/file/d/0By-MU9LhIHNAZDhhZy11dmFyRzA/edit>.

11. Курс лекций проф. Дитера Шмитта [Электронный ресурс] / http://www.ssau.ru/files/events/AirTransportSystemSamara2012V1_

12. Пухов, А. А. Автоматизация проектирования дозвуковых грузо-пассажирских самолётов [Текст]: дис.... д-ра. техн. наук/ А. А. Пухов - М., 2005. - 248 с.

13. Мальчевский, В. В. Матрично-топологический метод синтеза схемы и компоновки самолёта (опыт автоматизации творческой деятельности конструктора) [Текст] / В. В. Мальчевский. - М.: Изд-во МАИ, 2011. – 356 с.

14. Куприков, М. Ю. Влияние инфраструктурных ограничений на облик перспективного дальнемагистрального самолёта [Текст] / М. Ю. Куприков, С. В. Максимов // Изв. вузов Авиационная техника. - 1999. - №1. – С.52-55.

15. Боргест, Н. М. Автоматизация предварительного проектирования самолёта [Текст]: учеб. пособие / Н. М. Боргест. – Самара: Самар. авиац. ин-т, 1992. - 92 с.

AUTOMATED CONSTRUCTION OF A 3D PLANE MODEL AT THE STAGE OF TECHNICAL PROPOSALS

© 2012 N. M. Borgest¹, R. H. Aleev¹, P. A. Aksanian², A. A. Gromov¹

¹Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

²"Aviakor- Aircraft Plant"plc, Samara

The paper deals with the problems of automation in constructing 3D models of plane configuration at the stage of technical proposals. The results of the developed parametrical 3D model of traditional-configuration planes in the CAD CATIA system with changeable parameters of the plane's main units are presented. The emphasis is on the creation of the plane's external and internal configuration, the determination of a preliminary constructive scheme of the plane's main units and its coordination with the layout designs in the automatic mode.

Plane, design, CAD, CATIA, parametrical 3D model of a plane, UDF, initial matrix of the project, configuration.

Информация об авторах

Боргест Николай Михайлович, кандидат технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: borgest@yandex.ru. Область научных интересов: онтология проектирования, искусственный интеллект, системы автоматизированного проектирования.

Алеев Руслан Халилович, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: системы автоматизированного проектирования.

Аксаньян Пётр Алексеевич, заместитель начальника центра агрегатной сборки, ОАО «Авиакор - авиационный завод». Область научных интересов: системы автоматизированного проектирования, технологии производства самолетов.

Громов Алексей Александрович, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: gomer191@mail.ru. Область научных интересов: системы автоматизированного проектирования.

Borgest Nikolay Mihajlovich, candidate of technical science, professor of the department of aircraft design, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: borgest@yandex.ru. Area of research: ontology of designing, artificial intelligence, computer-aided design systems.

Aleev Ruslan Halilovich, undergraduate student, the faculty of aircraft construction, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: computer-aided design systems.

Aksanjan Peter Alekseevich, deputy head of the unit assembly centre, «Aviakor–aircraft plant» plc. Area of research: computer-aided design systems.

Gromov Alexey Aleksandrovich, undergraduate student, the faculty of aircraft construction, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: gomer191@mail.ru. Area of research: computer-aided design systems.