

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ГИПЕРЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

М.А. Котов

*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,
Москва, 119526, проспект Вернадского 101-1*

Аннотация

Рассмотрены способы создания сложных моделей поверхностей перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА) с помощью систем автоматизированного проектирования в моделировании трехмерных объектов.

MODELING OF SURFACES OF HYPERSONIC AIRCRAFT

M.A. Kotov

Institute for problems in mechanics RAS, Russia, Moscow, 119526

The way of modeling of three-dimensional objects and the methods of creating of complex surface models of promising hypersonic vehicles are set out by automatic PC program.

1. ВВЕДЕНИЕ

К одним из наиболее важных и сложных проблем аэротермодинамики аэрокосмических аппаратов можно отнести вопросы моделирования сложных (трехмерных) элементов течения у поверхности гиперзвуковых летательных аппаратов (отрывные течения и течения присоединения, ламинарно-турбулентный переход, сложные ударно-волновые взаимодействия). Однако, проведение реальных физических экспериментов в этой области отличается высокой стоимостью и сопряжено со множеством технологических и технических трудностей. Поэтому большое значение для оптимизации конструкции и рабочих характеристик ГЛА имеет численное моделирование аэротермодинамических и теплофизических процессов. При решении этой задачи важную роль играет умение создавать математические модели поверхностей летательных аппаратов сложной формы. На первом этапе из всей совокупности указанных задач интерес представляет лишь форма изучаемых объектов техники, их размеры и взаимное расположение, а не физические свойства этих тел. Построение таких поверхностей базируется на аналитической и дифференциальной геометрии, методах вычислительной математики. Усложняющей особенностью при построении геометрической модели летательных аппаратов является необходимость учета многосвязности областей составляющих поверхность тела, наличия сопряжений между элементами поверхности. Такой тщательный учет особенностей формы поверхности связан с решением последующей задачи построения расчетных сеток высокого качества. Создание сложной модели поверхности таким способом представляет собой достаточно медленный, трудоемкий процесс и требует многократного редактирования модели поверхности.

В результате получаются расчетные сетки и геометрическая модель поверхности, позволяющие проводить расчетно-теоретические исследования аэротермодинамики перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов и космических аппаратов, предна-

значенных для входа в плотные слои атмосфер планет и возвращения на Землю.

Геометрическое моделирование технических объектов изучает различные математические методы и способы построения математической модели, которая определяет только геометрические свойства тел.

2. СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Используя подходы, имеющиеся в арсенале геометрического моделирования, требуется выполнить процесс построения поверхностей летательных аппаратов сложной формы.

В процессе геометрического моделирования важно устранить ошибки и неточностей. Это, как правило, достигается это путем создания и редактирования отдельных деталей и определения характера их взаимосвязи в собранном виде [1]. Широкое распространение получил способ создания трехмерных геометрических моделей с помощью так называемого «прозрачного ящика». Поместив модель внутрь прозрачного ящика и спроецировав ее на три ортогональные плоскости получают три двумерные проекции, которые описывают форму трехмерной модели (рис.1, рис.2).

Этот процесс обратим: нарисуем проекции воображаемой модели на трех ортогональных плоскостях. С помощью двумерного редактирования полученных проекций составляется их общее решение, которое сформирует нужную модель. Подобный алгоритм используется многими программами трехмерного моделирования (например, AutoCAD, 3ds max).

Основной недостаток описанного подхода к моделированию заключается в том, что полученная таким образом модель с большим трудом поддается редактированию. При готовом общем решении можно только или отменить последовательность операций, попутно создавая новые, или сделать все заново. Создание сложной модели с помощью таких действий занимает много времени, поскольку после каждого двумерного изменения приходится отслеживать трехмерный вид и учитывать проблемы сопряжения конструкции и раз-

меров деталей (в том числе, возможные несостыковки элементов). Кроме того, каждая новая итерация создания модели добавляется к операциям, сделанным ранее, увеличивая, тем самым, размер документа модели.

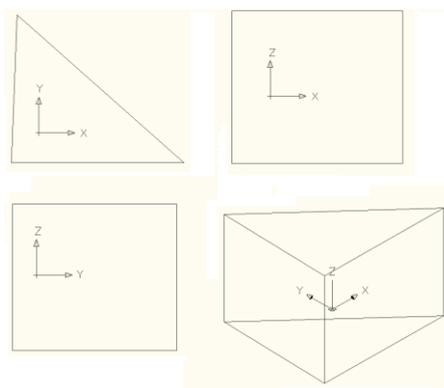


Рис. 1. Прimitives модели в AutoCAD

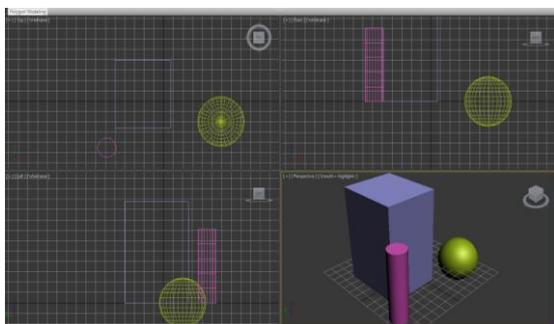


Рис. 2. Прimitives модели в 3ds max

Существует другой подход в трехмерному моделированию, который повторяет реальный технологический процесс изготовления детали: подбираются соответствующие инструменты и последовательность их применения. На передний план выходит не форма модели, а замысел проекта, т.е. последовательность выполняемых действий. Этот подход к моделированию использует САПР SolidWorks [2].

Процесс построения модели основывается на создании элементарных геометрических примитивов и выполнении различных операций между ними. Модель набирается из стандартных элементов и может быть отредактирована путем либо добавления/удаления этих элементов, либо изменения характерных параметров элементов. В процессе моделирования создается не деталь, а алгоритм (последовательность операций) ее создания. Таким образом, задаются размеры и геометрические взаимосвязи между элементами, которые определяют форму конкретной детали.

Двунаправленные ассоциативные взаимосвязи между деталями, сборками и их чертежами в SolidWorks гарантируют соответствие модели и чертежа, т. е. все изменения, сделанные в детали автоматически передаются связанную с ней сборку и чертеж. Библиотека материалов SolidWorks позволяет определять материал детали для массовых характеристик, спецификаций и последующих расчетов и анализов в приложениях COSMOSXpress или COSMOSWorks, которые входят в состав системы.

В SolidWorks имеются средства конвертации и сохранения в форматах, которые доступны для открытия и изменения в других программах моделирования (3ds max, AutoCAD и т.д.).

3. ПРОЦЕСС ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ X-51A

X-51A [6, 7] – экспериментальный беспилотный гиперзвуковой летательный аппарат доработка и испытания которого в настоящее время ведутся в США (изображен на рис.3).



Рис.3. Макет ГЛА X-51

Его длина составляет 7.9 м, взлетная масса около 1800 кг, в настоящее время ведется доработка и испытания. Аппарат рассчитывается на максимальную скорость полета более 7 М (более 2300 м/с).

Целью программы X-51 является разработка различных гиперзвуковых систем – включая боевые, а также средства вывода полезной нагрузки в околоземное пространство [7] (рис.4).



Рис.4. Макет ГЛА X-51 с нагрузкой

Макет профиля ГЛА X-51A [7] показан на рис. 5.



Рис. 5. Макет профиля ГЛА X-51A [7]

Фотография подготовки ГЛА X-51A к полету приведена на рис. 6.



Рис. 6. Подготовка ГЛА X-51A к полету [7]

Особенности моделирования гиперзвуковых летательных аппаратов описаны в [3–5]. Для создания гладких наклонных плоскостей, как, например, выпуклые грани перед рулями высоты, строится вытянутый по сечениям элемент. Но определяющие этот элемент эскизы расположены под углом друг к другу, имеют одинаковое количество отрезков и одну общую грань (рис.7).

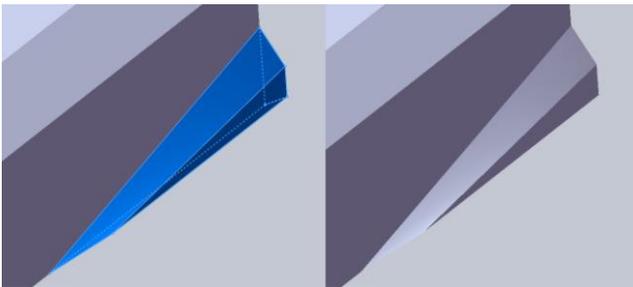


Рис. 7. Вытянутый по сечениям элемент

Также, ввиду особенностей внешнего вида модели, вытягивание должно быть выполнено не прямым (кратчайшим) путем (рис.7), а с небольшой выпуклостью. Для этого задается кривая, которая указывает направление вытягивания (рис.8). Для успешного построения элемента необходимо, чтобы она имела общие точки с определяющими эскизами.

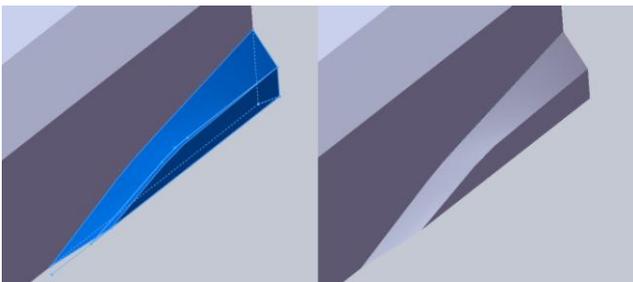


Рис. 8. Вытянутый по сечениям элемент с указанием направляющей кривой

Похожим образом строится носик модели (рис.9).

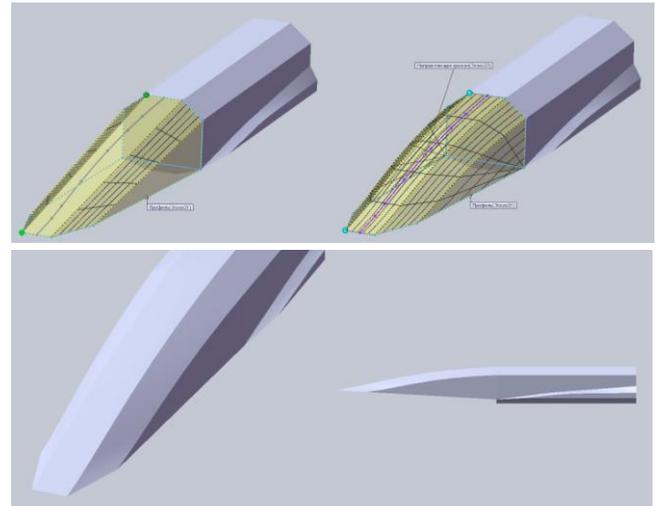


Рис. 9. Создание носика модели

Носик модели имеет плавный переход от частично сглаживания кромок в центре до полного скругления в конце. Для создания такого перехода используется элемент скругления с переменным радиусом (рис.10–11).

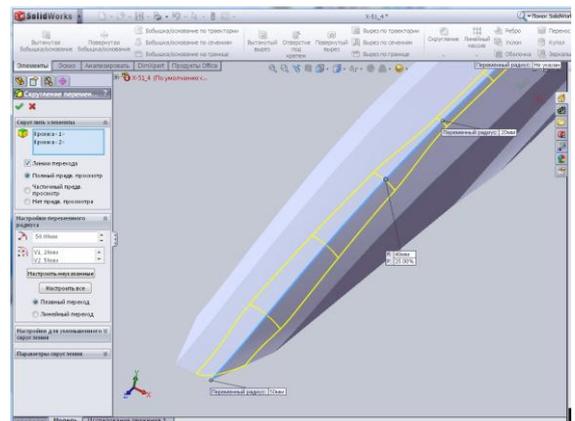


Рис. 10. Определение радиусов скругления кромки

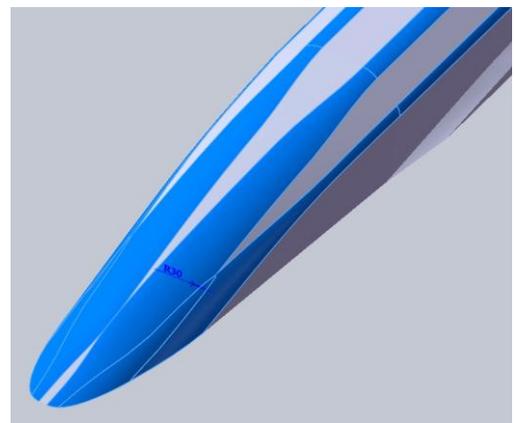


Рис. 11. Скругление носика модели

С помощью описанных в [3–5] подходов и приемов моделирования задается построение дальнейших элементов модели, таких, как ГПВРД (рис.12), рули высоты и поворота (рис.13) и создается окончательный вариант модели (рис.14–16).

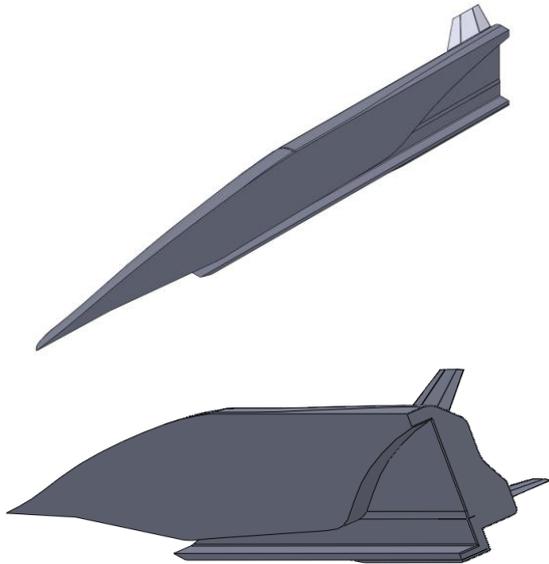


Рис. 12. Элемент ГПВРД трехмерной поверхности ГЛА X-51A

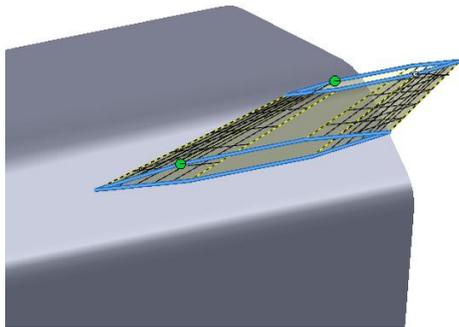


Рис. 13. Построение элементов хвостового оперения трехмерной поверхности ГЛА X-51A

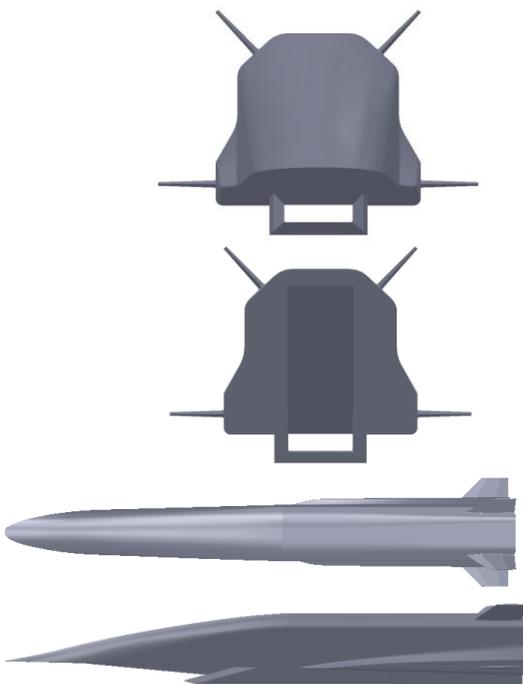


Рис. 14. Общие виды модели ГЛА X-51A (спереди, сзади, сверху, сбоку)

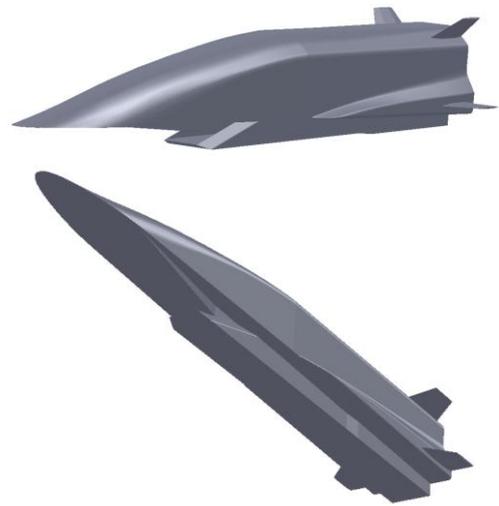


Рис. 15. Общие виды модели ГЛА X-51A

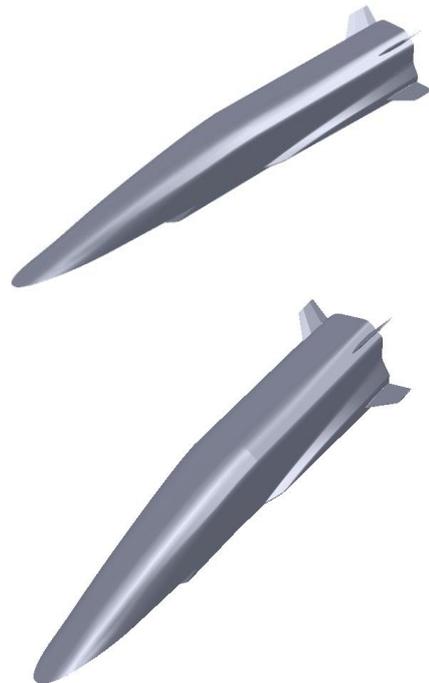


Рис. 16. Общие виды модели ГЛА X-51A (изометрия, триметрия)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были созданы сложные поверхности гиперзвуковых летательных аппаратов в САПР SolidWorks, необходимые для проведения численных расчетов термоаэродинамики [8]. Рассмотрены способы создания сложносоединенных трехмерных элементов и их взаимосвязи [3–5]. Ведется трехмерное моделирование форм сложных летательных аппаратов для последующих расчетов и анализов [9–12]. Приведены примеры построения модели поверхности гиперзвукового летательного аппарата X-51A.

Работа проводилась в рамках программ фундаментальных исследований РАН и выполнена в Лаборатории радиационной газовой динамики Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. М.: Физматлит, 2002.
2. SolidWorks. Практическое руководство. М.: Бинوم, 2004.
3. Котов М.А., Кузенов В.В. Геометрическое моделирование сложных поверхностей гиперзвуковых летательных аппаратов в САПР // Сборник научных трудов АФМ 2010.
4. Котов М.А. Геометрическое моделирование поверхностей гиперзвуковых летательных аппаратов X-43 и X-51A // Сборник научных трудов АФМ 2011.
5. Котов М.А., Кузенов В.В., Сыздыков Е.К. Геометрическое моделирование поверхности перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов // Изобретательство Том XII №6, Москва, 2012.
6. CD X-51A FIRST FLIGHT May 2010. V1.exb1. Pratt & Whitney A United Technologies Company.
7. Canan W.J. Breathing new hope into hypersonics. // AEROSPASE, November 2007. 26 p.
8. Котов М.А., Кузенов В.В. Численное моделирование обтекания поверхностей перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов. ISSN 1812-3368, Вестник московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. - 2012. - №3(67), С.17–30.
9. Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. Численное моделирование гиперзвукового обтекания модели летательного аппарата X-43 / Препр. ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН. № 950. 2010.
10. Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. Численное моделирование гиперзвукового обтекания модели летательного аппарата X-43 // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2011. Т.11. <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2011-02-01-030.pdf>
11. Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. Поле течения около космического аппарата Fire II под углом атаки // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2010. Т.9. <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2010-01-12-020.pdf>
12. Суржиков С.Т. Расчет обтекания модели космического аппарата MSRO с использованием кодов NERAT-2D и NERAT-3D // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2010. Т.9. <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2010-01-12-003.pdf>