

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В САПР

М.А. Котов^{1,2}, В.В. Кузенов²

¹ *Московский Институт Радиотехники, Электроники и Автоматики (технический университет),
Москва, 119454, проспект Вернадского 78*

² *Институт проблем механики Российской академии наук,
Москва, 119526, проспект Вернадского 101-1*

Аннотация

Работа посвящена демонстрации возможностей новой версии системы автоматизированного проектирования SolidWorks 2009. Рассмотрены различные способы создания сложных моделей поверхностей перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов.

GEOMETRIC MODELING OF COMPLEX SURFACES OF HYPERSONIC AIRCRAFT IN CAD

М.А. Kotov^{1,2}, V.V. Kuzenov²

¹ *MIREA, Russia, Moscow, 119454*

² *Institute for Problems in Mechanics Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow, 119526*

The article is devoted to demonstration of opportunities of the new version of system of automated designing SolidWorks 2009. Ways of creation of complex models of surfaces of hypersound flying devices are considered.

1. ВВЕДЕНИЕ

Все возрастающий интерес к численным многомерным исследованиям гиперзвукового полета аппаратов со сложной внешней поверхностью обусловлено, прежде всего, значительными успехами в конструировании аэрокосмической техники. Однако, реальные физические эксперименты в этой области отличаются высокой стоимостью и множеством технологических сложностей. Поэтому все большее значение в последнее время начинает играть многомерное численное моделирование процессов, протекающих при гиперзвуковом полете. Здесь следует отметить, что при этом важно правильно моделировать поверхности гиперзвукового летательного аппарата [1].

В этой связи в данной работе ставилась и решалась задача создания трехмерной модели поверхности гиперзвукового летательного аппарата, который оснащен с воздушно-реактивными двигателями. В системах САПР нашли распространение два метода создания такого рода поверхностей. Первый это так называемый метод «прозрачного ящика», который обладает существенным недостатком – полученная таким образом модель с большим трудом поддается редактированию. Создание сложной модели поверхности таким способом представляет достаточно медленный и трудоемкий процесс.

Существует другой подход в трехмерному моделированию, который повторяет реальный технологический процесс изготовления детали: подбираются соответствующие инструменты и последовательность их применения. Этот подход к моделированию геометрии поверхности гиперзвукового летательного аппарата использует САПР SolidWorks [2].

2. САПР SOLIDWORKS

SolidWorks — это система автоматизированного проектирования, которая предназначена для моделирования деталей и сборок в трехмерном пространстве с возможностью проведения различных видов экспресс-анализа, а также оформления конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД (Единая система конструкторской документации). Система использует графический интерфейс Microsoft Windows.

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.

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.

2.1. Процесс построения модели поверхности гиперзвукового летательного аппарата

Процесс моделирования начинается с создания эскиза или поперечного сечения. Затем эскиз при помощи определенного конструктивного элемента приобретает трехмерный вид (рис. 1).

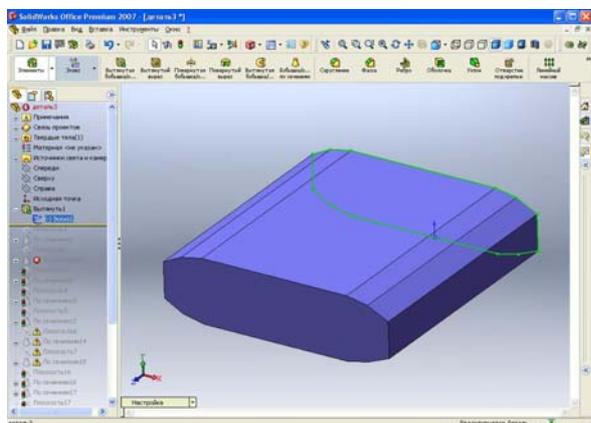


Рис. 1. Вытянутый элемент

При создании трехмерной поверхности эскизы могут быть вытянуты, повернуты, рассечены сложным образом, смещены по контуру.

Так, например, для создания формы поверхности изображенной на рис.1 и рис.2 следует построить несколько плоскостей, на поверхности которых строим эскизы приблизительного вида поперечных сечений аппарата.

После этого создаем трехмерную форму поверхности аппарата путем “вытягивания” сечения вдоль соответствующего направления.

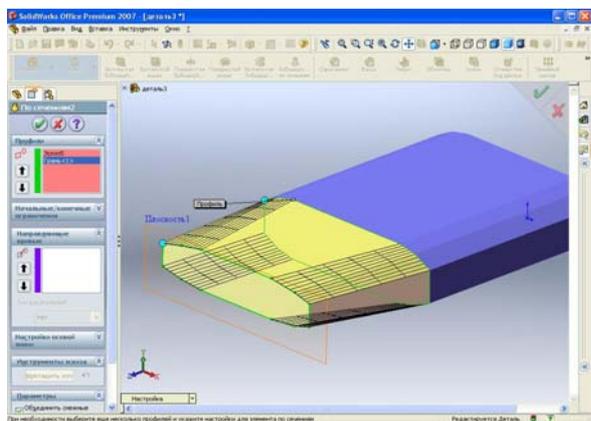


Рис. 2. Два вытянутых эскиза

Для создания новых граней в приблизительно построенной форме (которая создана на предыдущем этапе) летательного аппарата или сглаживания имеющихся ребер применяем элемент “вытянутый вырез”. Эта операция производится следующим образом: выбирается плоскость, на которой рисуется эскиз с заданными параметрами выреза (рис. 3).

Используя описанные выше способы построения сложной поверхности, создаем предварительную геометрическую модель поверхности гиперзвукового летательного аппарата, который показан на рис. 4. Форма этой поверхности (рис.4) содержит большое количество

острых углов, которые при обтекании их сверхзвуковым потоком газа служат источником возвратных вихревых зон – т.е. служат источником дополнительного волнового сопротивления.

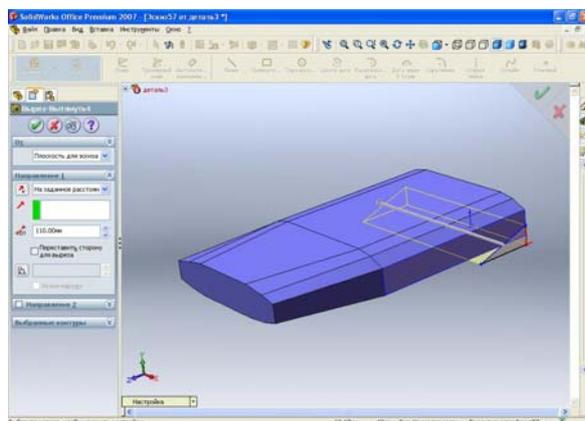


Рис. 3. Вытянутый вырез

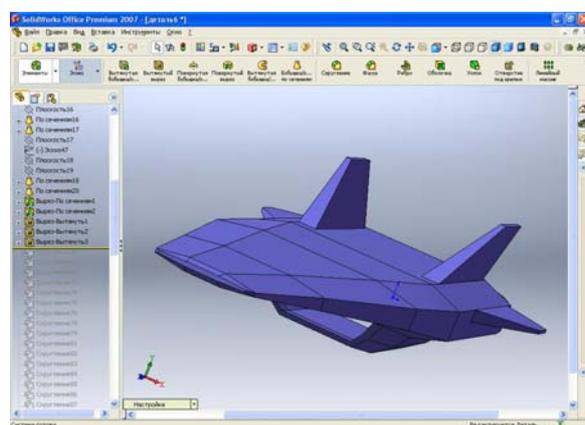


Рис. 4. Предварительный вариант модели

Для устранения этой проблемы элементы формы созданной поверхности (рис.4) необходимо сгладить. Для этого используем элемент «Скругление» (рис. 5). При этом в параметрах интерфейса элемента указываются способ скругления, линии или грани, а также радиус скругления. С помощью этого элемента скругляем нужные нам места в имеющейся модели поверхности и создаем окончательный вариант геометрической модели поверхности.

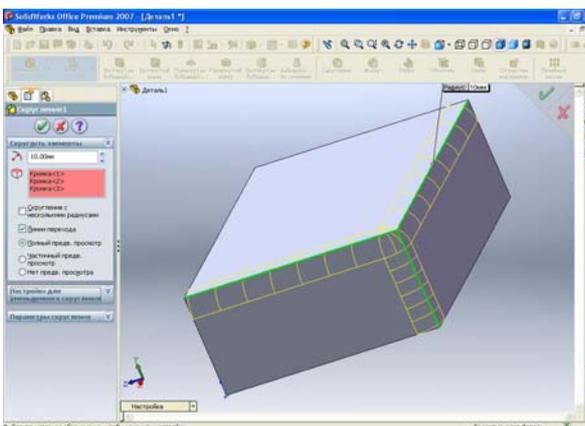


Рис. 5. Скругление

2.2. Геометрическая модель поверхности беспилотного гиперзвукового летательного аппарата с гиперзвуковым воздушно-реактивным двигателем (ГПВРД)

В САПР SolidWorks с использованием выше перечисленных действий была построена модель поверхности приближенно соответствующая форме поверхности гиперзвукового летательного аппарата X-43A [3] (рис. 6).

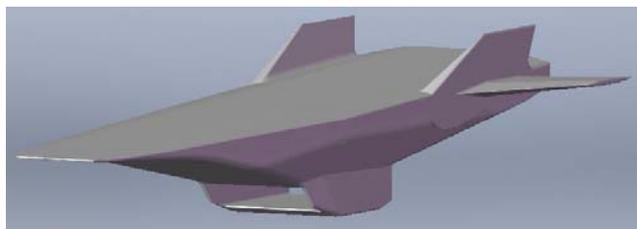


Рис. 6. Общий вид геометрии гиперзвукового летательного аппарата X-43A

Эта форма поверхности гиперзвукового летательного аппарата X-43A в дальнейшем была использована для проведения трехмерных термоаэрогазодинамических расчетов течения сжимаемого газа. Ниже представлены несколько стандартных видов построенной модели поверхности аппарата X-43A (рис. 7–10).



Рис. 7. Вид спереди

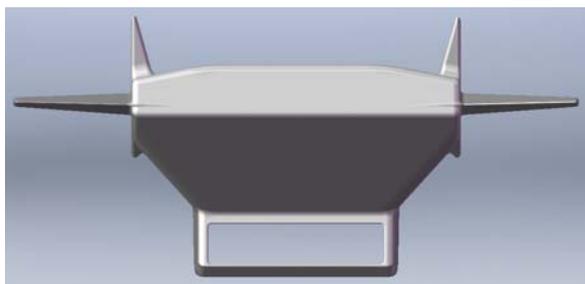


Рис. 8. Вид сзади

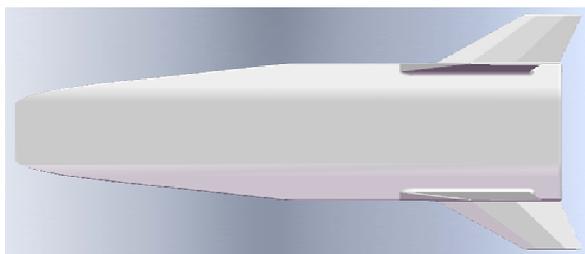


Рис. 9. Вид сверху

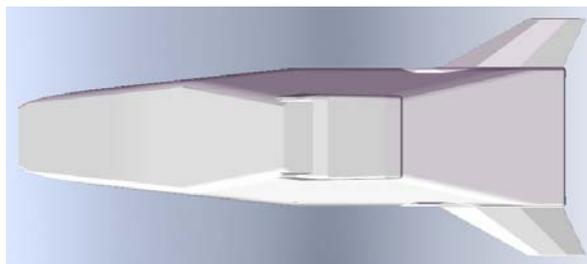


Рис. 10. Вид снизу

Модель имеет стреловидные формы хвостового оперения. Грани рулей поворота, которые находятся под углом с внутренней стороны, с внешней стороны параллельны и имеют продолжение на нижних поверхностях модели (рис. 7, 8). Относительно поперечной оси верхние и нижние грани рулей высоты находятся под симметричным углом. По продольной оси модель имеет одинаковые входное и выходное отверстия воздушно-реактивного двигателя (рис. 7, 8).

Для оценки влияния на тяговые характеристики аппарата X-43A хвостовой части были построены 3 варианта модели поверхности. Эти варианты поверхности аппарата X-43A различаются величиной угла наклона плоскости, примыкающей к кромке выходного сечения ГПВРД (рис. 11).

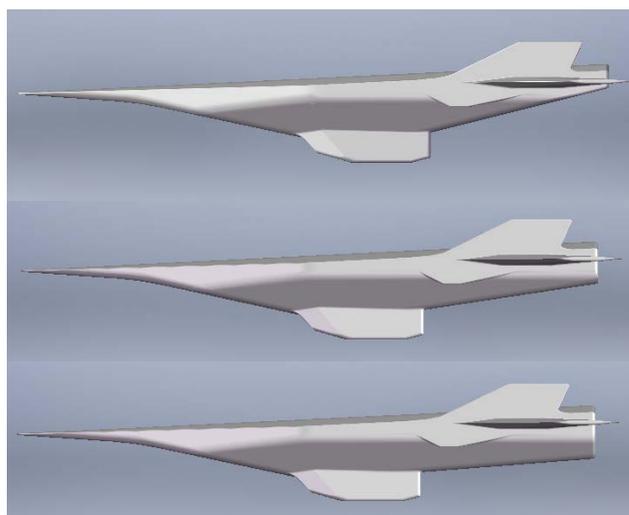


Рис. 11. Три варианта модели поверхности гиперзвукового летательного аппарата X-43A. Вид справа

Данные варианты модели задней нижней поверхности аппарата позволяет оптимизировать влияние, вытекающей из ГПВРД догорающей смеси топлива и окружающего воздуха, на силовые характеристики гиперзвукового аппарата X-43A.

Представленные выше формы поверхностей гиперзвуковых летательных аппаратов имеют планер самолетного типа. Теперь рассмотрим способы построения тел имеющих более сложные поверхности: гиперзвукового летательного аппарата Waverider.

2.3. Способы построения сложных поверхностей модели гиперзвукового аппарата Waverider

Для создания безотрывного характера течения внешнего воздушного газового поток необходимо построить модель гиперзвукового аппарата с малым ко-

личеством ортогональных плоскостей и граней и с более обтекаемой геометрией внешней поверхности.

Процесс построения таких моделей гиперзвуковых аппаратов аналогичен порядку действий, которые использовались при построении аппарата X-43А.

В качестве основы для создания эскиза гиперзвукового аппарата Waverider была выбрана плоскость параллельная оси аппарата, в которой в качестве контура аппарата Waverider (вид сверху – рис.12) была выбрана парабола. Затем “парабола” вытянута в направлении перпендикулярном плоскости эскиза (рис. 12). В результате выполненных действий приближенная форма аппарата Waverider приобретает трехмерный вид.

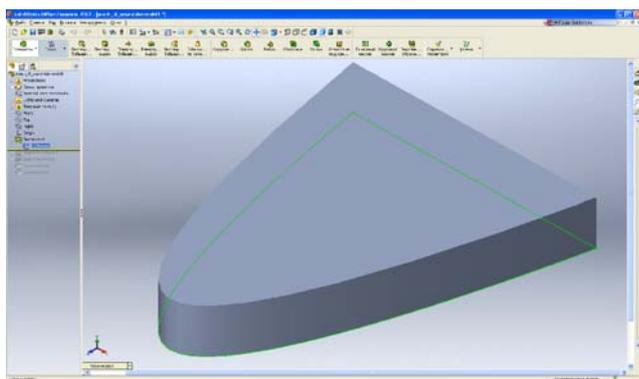


Рис. 12. Трехмерный вид эскиза гиперзвукового аппарата Waverider

Для построения симметрично-выпуклой верхней поверхности модели аппарата Waverider в плоскости перпендикулярной оси системы создается эскиз параболической кривой, с помощью которой (путем вытягивания кривой вдоль оси аппарата и отсекания (используется интерфейс выреза) верхней поверхности – рис. 13) формируется верхняя часть модели поверхности гиперзвукового аппарата.

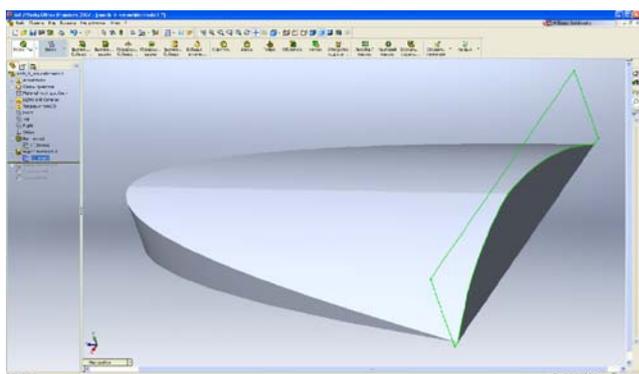


Рис. 13. Вытянутый вырез гиперзвукового аппарата Waverider

Таким же образом строится выпуклая нижняя поверхность гиперзвукового аппарата Waverider. Но, поскольку эта поверхность должна находиться под наклоном к горизонту, в интерфейсе свойств выреза задается нужное значение угла наклона (рис. 14).

Для придания модели гиперзвукового аппарата Waverider лучшей обтекаемости (см. обсуждение, которое приведено выше) используются операция скругления. Поскольку эскизы, которые использовались для

вытянутых вырезов, имеют плавные контуры, то и поверхности, построенные с помощью этих элементов, имеют сглаженные формы поверхности.

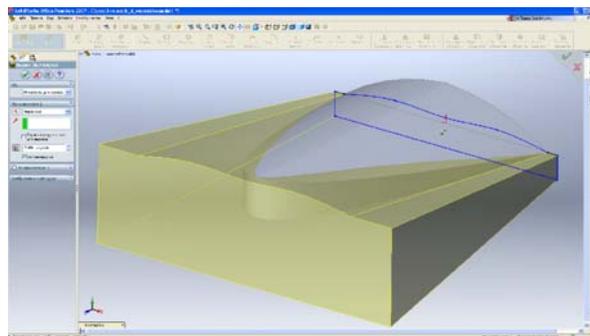


Рис. 14. Создание нижней поверхности гиперзвукового аппарата Waverider

По этой причине операцию скругления необходимо применить только к носовой части и к граням модели гиперзвукового аппарата Waverider. После чего создается окончательный вариант поверхности гиперзвукового аппарата типа Waverider (рис. 15).



Предварительный вариант модели поверхности гиперзвукового аппарата Waverider

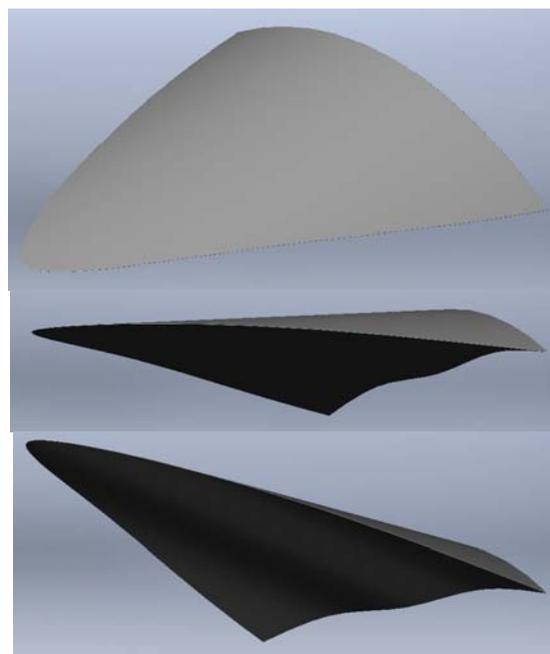


Рис. 15. Общие виды модели гиперзвукового аппарата Waverider

Ниже представлены несколько стандартных видов модели (рис. 16–18).

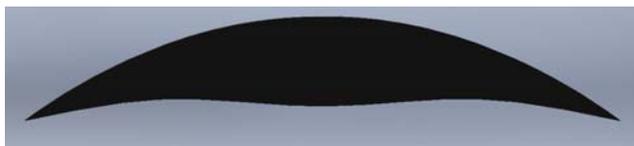


Рис. 16. Вид спереди гиперзвукового аппарата Waverider

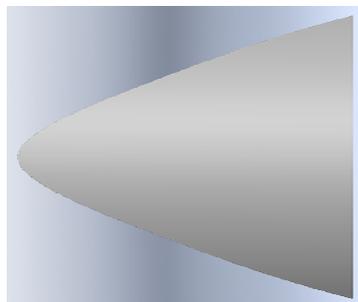


Рис. 17. Вид сверху гиперзвукового аппарата Waverider



Рис. 18. Вид справа гиперзвукового аппарата Waverider

5. Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. Численное моделирование гиперзвукового обтекания цилиндра // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2008. Том 7. <http://chemphys.edu.ru/pdf/2008-09-01-035.pdf>
6. Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. Поле течения около космического аппарата Fire II под углом атаки // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2010. Том 9. <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2010-01-12-020.pdf>
7. Железнякова А.Л., Кузенов В.В., Петрусов А.С., Суржиков С.Т. Расчет аэротермодинамики двух типов моделей спускаемых космических аппаратов // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2010. Том 9. <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/010-01-12-025.pdf>
8. Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. Численное моделирование гиперзвукового обтекания модели летательного аппарата X-43 // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2011. Том 11. <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2011-02-01-030.pdf>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были созданы сложные поверхности гиперзвуковых летательных аппаратов в САПР SolidWorks 2009 необходимые для проведения численных расчетов термоаэродинамики сложных поверхностей перспективных аппаратов [4-8]. Работа выполнена в Лаборатории радиационной газовой динамики ИПМех РАН и на базовой кафедре МФТИ «Физическая и химическая механика» в рамках проекта РФФИ № 07-01-00133 (разработка пространственной модели движения химически реагирующего газа), в рамках международного Российско-Итальянского проекта РФФИ № 09-08-92422-КЭа (разработка компьютерных радиационно-столкновительных моделей) и программы сотрудничества РАН и CNR, а также в рамках Программы фундаментальных исследований РАН (создание моделей физико-химической кинетики высокотемпературных газовых потоков) и Программы министерства образования и науки Российской Федерации РНПВШ 2.1.1/4693 (создание гибридных радиационно-столкновительных моделей аэрофизики).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование. М.: Физматлит, 2002.
2. SolidWorks. Практическое руководство. М.: Бинум, 2004.
3. Котов М.А., Кузенов В.В. Создание сложных поверхностей гиперзвуковых летательных аппаратов системами САПР // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2010. Том 9. <http://www.chemphys.edu.ru/pdf/2010-01-12-039.pdf>
4. Железнякова А.Л., Суржиков С.Т. Расчет дозвукового обтекания локальной области тепловыделения // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2008. Том 7. <http://chemphys.edu.ru/media/files/2008-09-01-034.pdf>