

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(национальный исследовательский университет)**

**МАТВЕЕВ С.Г., ЛУКАЧЕВ С.В., ОРЛОВ М.Ю., АНИСИМОВ М.Ю.,
ЗУБРИЛИН И.А.**

**СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ КАМЕР СГОРАНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

САМАРА 2010

Рецензенты: док. техн. наук, зав. каф. Теории двигателей летательных аппаратов, д.т.н. профессор начальник отдела ОКБ

Матвеев С.Г., Лукачев С.В., Орлов М.Ю., Анисимов М.Ю., Зубрилин И.А.

Создание трехмерных геометрических виртуальных моделей камер сгорания: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. Ун-та, 2010. – с.:ил.

Рассмотрены вопросы, связанные с созданием трехмерных геометрических виртуальных моделей камер сгорания ГТД. Приведены основные термины и определения геометрического моделирования. Описана методология построения геометрических моделей элементов камеры сгорания и создания сборки камеры сгорания на базе готовых элементов, а также последовательность создания газодинамической области и использование wave-технологии. Изложен порядок выполнения комплекса лабораторных работ и содержание отчета по ним

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений обучающихся по специальности «Проектирование авиационных и ракетных двигателей».

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Основные сокращения, условные обозначения и индексы | 4 |
| 1 Выбор пакета для создания геометрической модели..... | 5 |
| 2 Основные понятия и термины геометрического моделирования..... | 7 |
| 3 Основные подходы к построению 3d моделей | 8 |
| 4 Построение геометрических моделей элементов камеры сгорания..... | 12 |
| 4.1 Построение геометрической модели завихрителя..... | 12 |
| 4.2 Построение модели центробежной форсунки | 17 |
| 4.3 Построение геометрической модели жаровой трубы | 21 |
| 4.3.1 Построение модели трубчатой камеры сгорания | 21 |
| 4.3.2 Построение кольцевой камеры сгорания | 23 |
| 4.3.3 Построение кармана подвода вторичного воздуха..... | 25 |
| 4.4 Корпус камеры сгорания..... | 33 |
| 4.4.1 Построение выходного патрубка камеры сгорания | 33 |
| 5 Создание сборки камеры сгорания на базе готовых элементов | 37 |
| 6 Создание газодинамической области. Использование wave-технологии..... | 39 |
| 7 Порядок выполнения комплекса лабораторных работ и содержание отчета по ним..... | 41 |
| 8 Контрольные вопросы к отчету по лабораторной работе | 43 |

Основные сокращения, условные обозначения и индексы

Сокращения

КС – камера сгорания;

ГТД – газотурбинный двигатель;

NX - Unigraphics

1 Выбор пакета для создания геометрической модели

В настоящее время для снижения затрат на конструирование, доводку и запуск в производство сложных технических изделий широко используются системы автоматизированного проектирования (САПР), которые могут включать в себя CAD (Computer-Aided Design), CAE (Computer-Aided Engineering) и CAM (Computer-Aided Manufacturing) – системы.

CAD — средства автоматизированного проектирования, предназначенные для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации.

CAE — общее название для программ или программных пакетов, предназначенных для инженерных расчётов, анализа и моделирования физических процессов.

CAM — подготовка технологического процесса производства изделий, ориентированная на использование ЭВМ.

Для инженеров конструкторов в их работе наиболее характерно использование CAD/CAE-систем. В первых они создают объемное представление о объекте и в конечном итоге его чертежи, а с помощью вторых - выполняют все необходимые инженерные расчеты.

Как правило построение геометрических моделей выполняют в CAD-системах, которые в большей степени ориентированы для решения этой задачи, чем встроенные геометрические построители CAE - систем. В настоящее время наиболее распространенными CAD - системами являются пакеты ADEM, Auto CAD, КОМПАС, Solid Edge, Solid Works , NX (бывший UniGraphix), а также CATIA.

Для создания геометрических моделей камер сгорания в рамках этого пособия был выбран программный пакет NX - пакет высшего уровня CAD-моделирования, как обладающий мощным потенциалом трехмерного проектирования и большой гибкостью при создании геометрических

параметрических моделей. Общий графический интерфейс с программным комплексом Ansys позволяет экспортить модели в среду Ansys Workbench прямо из рабочего окна NX, что облегчает проведение параметрических расчетов. NX является базовым пакетом на большинстве крупных двигателестроительных предприятий, таких как Pratt&Whitney, ММПП «Салют», General Electric , ОАО «Авиадвигатель» и др.

2 Основные понятия и термины геометрического моделирования

Эскиз - плоская фигура, на основе которой образуется тело. Эскиз – двухмерный профиль или поперечное сечение будущей трехмерной модели. В NX «Эскиз» - это приложение, которое используется для создания двухмерной геометрии.

Трехмерная деталь - это точная компьютерная модель, построенная по чертежам реальной детали.

Грань - гладкая (необязательно плоская) часть поверхности тела.

Ребро – кривая, разделяющая две грани.

Вершина – точка на конце ребра.

Тело – часть пространства, ограниченная замкнутой поверхностью. Различают твердые тела, имеющие объем и поверхностные, которые объема не имеют.

Элемент – объект, создание которого в модели приводит к добавлению или удалению материала тел.

Сопряжение – параметрическая связь между компонентами, формируемая путем задания их взаимного положения.

Ассоциативность - свойство элементов модели отслеживать взаимосвязи между собой.

3 Основные подходы к построению 3d моделей

В большинстве современных программ для создания трехмерных моделей базовый подход состоит из следующего набора основных операций:

- создание примитивов;
- выдавливание;
- вращение;
- кинематическая операция
- элемент по сечениям
- дополнительные конструктивные элементы.

Создание примитивов - это операция формообразования, результатом которой являются элементы объемной геометрии простой формы (блок, сфера, конус, цилиндр и т.д.). Выдавливание - это операция формообразования, при которой эскиз, содержащий сечение элемента, перемещается в направлении, перпендикулярном собственной плоскости. Вращение - операция формообразования, при которой эскиз, содержащий сечение элемента, вращается вокруг оси. Кинематическая операция (протягивание вдоль кривой) - это операция формообразования, при которой эскиз, содержащий сечение элемента протягивается вдоль выбранной траектории. Элемент по сечениям - это операция формообразования, при которой задается набор эскизов, определяющих сечения элемента в различных точках в пространстве. Дополнительные конструктивные элементы - это операция построения фасок, скруглений, ребер жесткости и другие.

К основным инструментам создания геометрии также стоит отнести булевые операции (объединение, вычитание, пересечение), копирование, создание массивов, масштабирование, создание вспомогательных элементов (точек, прямых, плоскостей) и т.д. Многократное выполнение вышеперечисленных операций позволяет создавать самые сложные изделия.

Перед началом создания геометрической модели камеры сгорания (КС), в выбранном программном пакете, необходимо:

- сделать анализ функционального назначения каждого элемента КС и стратегии построения их виртуальных моделей;
- предусмотреть возможные изменения в конструкции при доводке КС или в процессе проведения её последующих модернизаций;
- провести анализ целесообразности создания модели КС "с чистого листа" или в результате переделки какой-либо существующей модели.

Камера сгорания

В настоящее время существует три основных типа камер сгорания ГТД:

- многосекционные камеры сгорания;
- трубчато-кольцевые камеры сгорания;
- кольцевые камеры сгорания.

Многосекционная (индивидуальная, трубчатая) камера сгорания использовалась в ГТД с центробежным компрессором и первых типах двигателей с осевыми компрессорами осевого потока.

Такие камеры расположены вокруг двигателя, рисунок 1, и воздух, подаваемый компрессором направляется по каналам в отдельные камеры сгорания, каждая из которых имеет внутреннюю жаровую трубу. Отдельные жаровые трубы соединены между собой, чтобы каждая из труб работала в одинаковом поле давления, а пламя распространялось по всем жаровым трубам в процессе запуска двигателя.

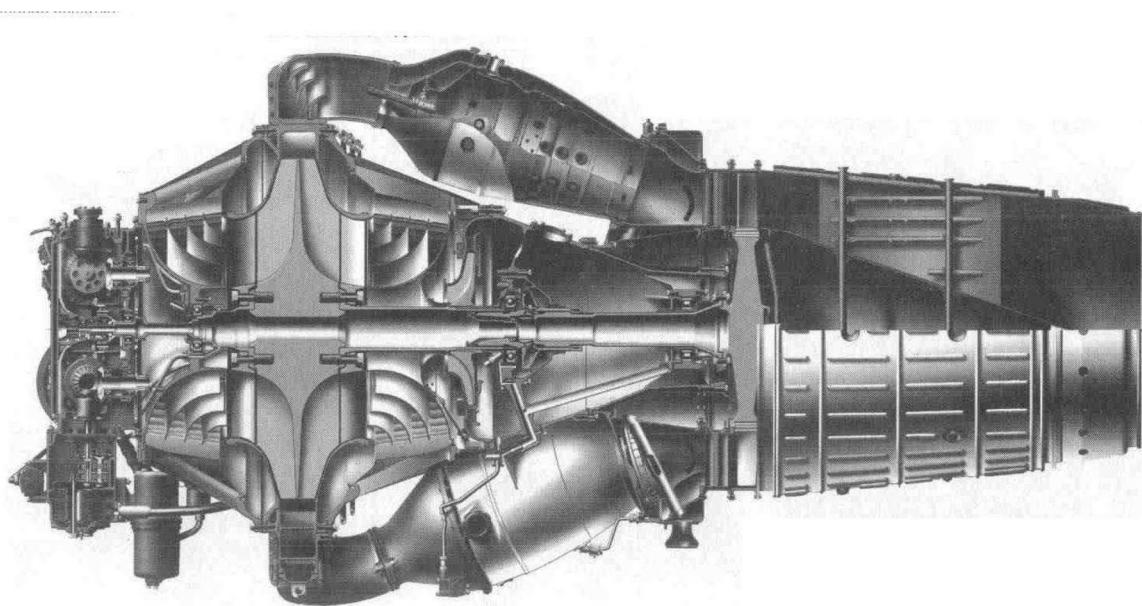


Рисунок 1 - Двигатель ВК-1 с индивидуальными камерами сгорания

Трубчато-кольцевая камера сгорания состоит из наружного и внутреннего кожухов, образующих кольцевое пространство, внутри которого размещаются индивидуальные жаровые трубы, рисунок 2.



Рисунок 2 - Трубчато-кольцевая камера сгорания

Кольцевая камера сгорания состоит из одиночной жаровой трубы, образующей полное кольцо по форме и внутреннего и внешнего корпуса, рисунок 3.

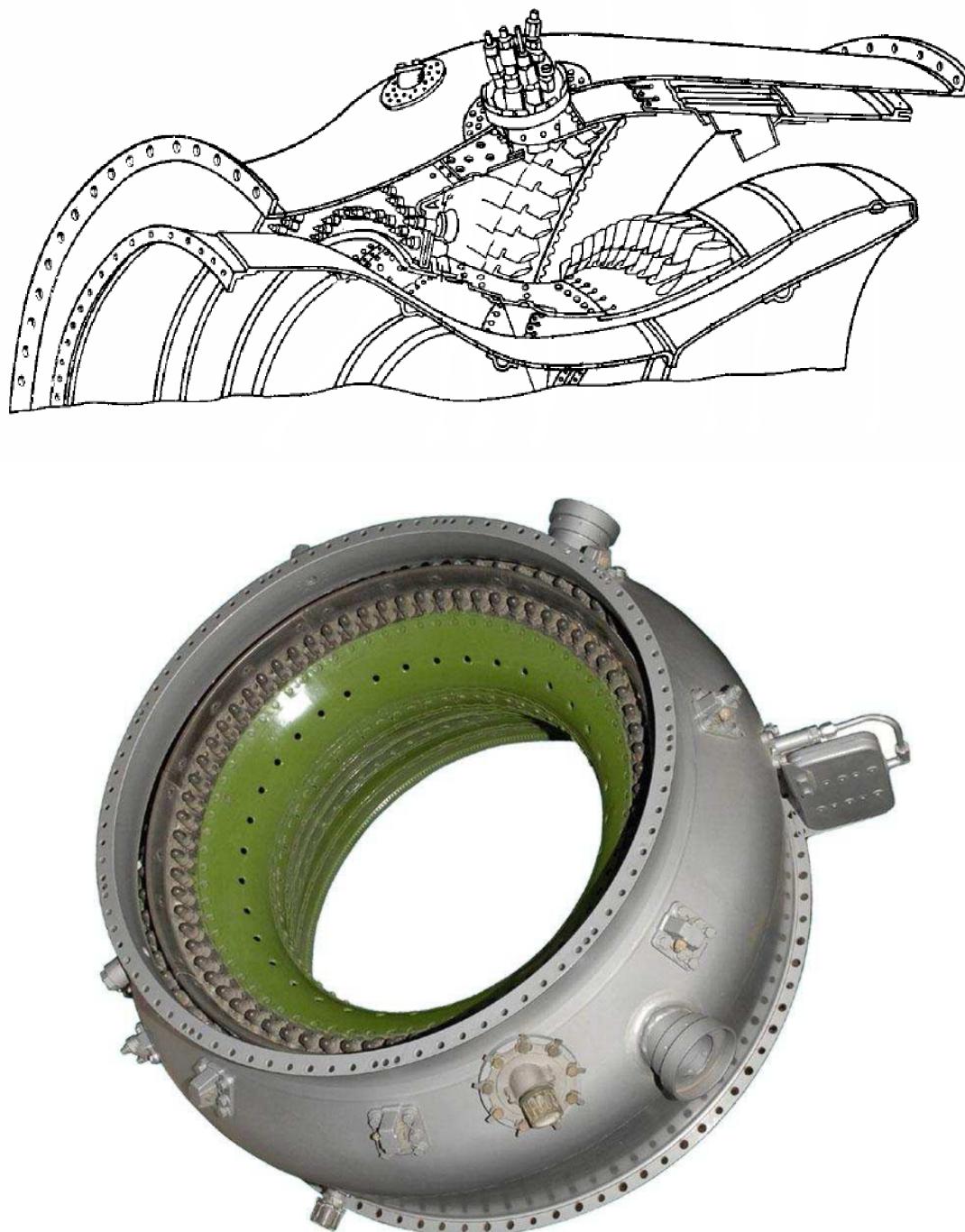


Рисунок 3 - Кольцевые камеры сгорания двигателей, созданных под руководством
Н.Д.Кузнецова.

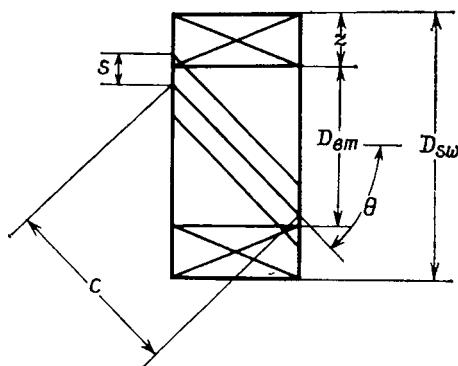
4 Построение геометрических моделей элементов камеры сгорания

В общем случае камера сгорания ГТД включает в себя ряд основных элементов. Рассмотрим методологию их построения.

4.1 Построение геометрической модели завихрителя

Ниже показано создание модели однорядного осевого завихрителя. Как правило, типичный однорядный осевой завихритель включает следующие простые части, рисунок 4:

- внутренняя втулка;
- внешний корпус;
- лопатки завихрителя.



θ — угол выхода из завихрителя;

c — хорда лопатки;

s — шаг;

z/c — относительная высота лопатки;

s/c — относительный шаг лопатки.

Рисунок 4 - Схема завихрителя с плоскими лопатками на центральной втулке

Лопатки могут быть как плоскими, так и изогнутыми. На рисунке 4 приведены обозначения характерных геометрических величин в случае завихрителя с плоскими лопатками.

Создание геометрической модели завихрителя удобно начинать с построения эскиза втулки. Для создания эскиза необходимо использовать инструмент «профиль» и с помощью отрезков создать нужную фигуру рисунок 5. Для удобства отрезки обозначены цифрами.

Далее необходимо выполнить наложение геометрических и размерных ограничений, рисунок 6. Получившийся эскиз связан с внешней геометрией и геометрическими и размерными ограничениями.

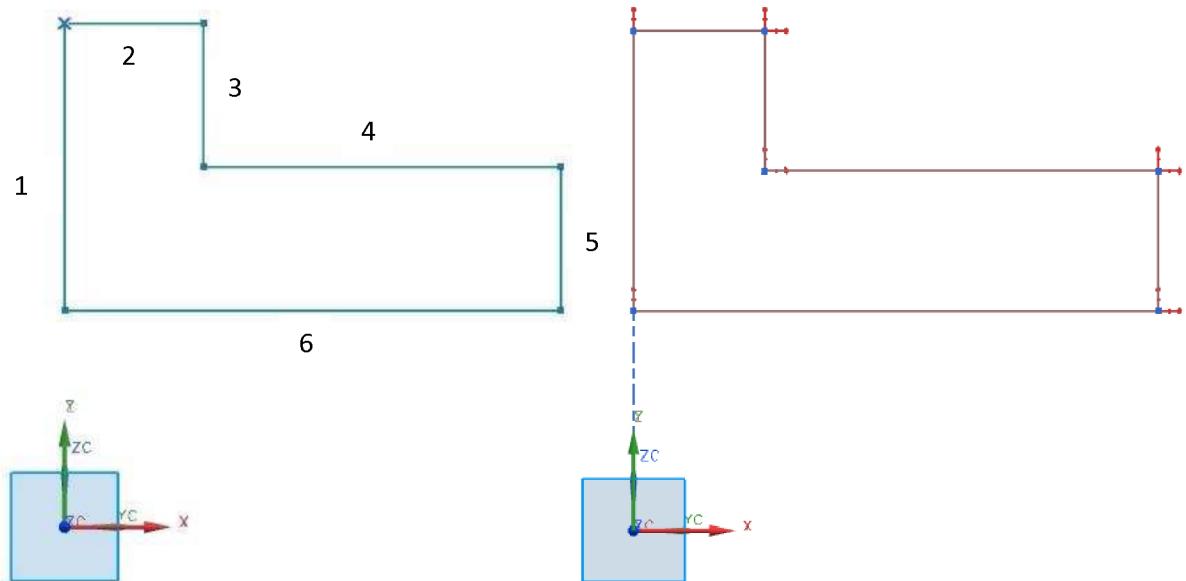


Рисунок 5 - Черновой эскиз втулки завихрителя; привязка эскиза к глобальной системе координат

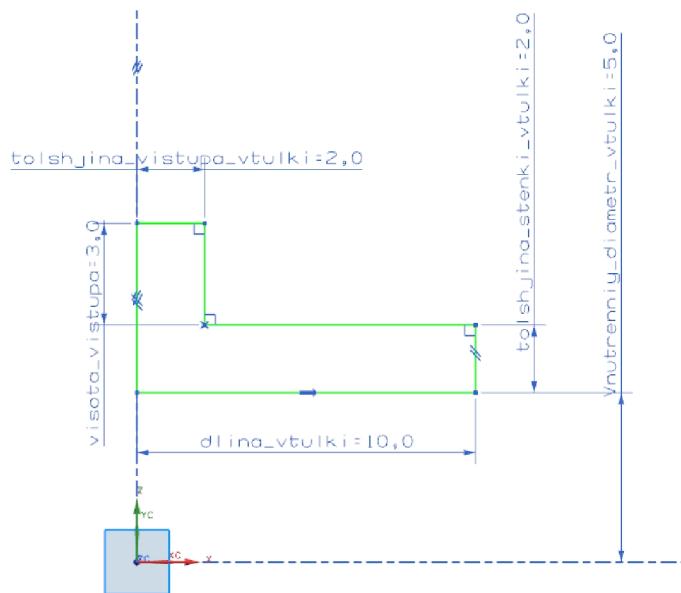


Рисунок 6 - Полнотью ограниченный эскиз втулки

Построение тела втулки выполняется вращением построенного эскиза вокруг оси (ось глобальной системы координат ХС), рисунок 7.

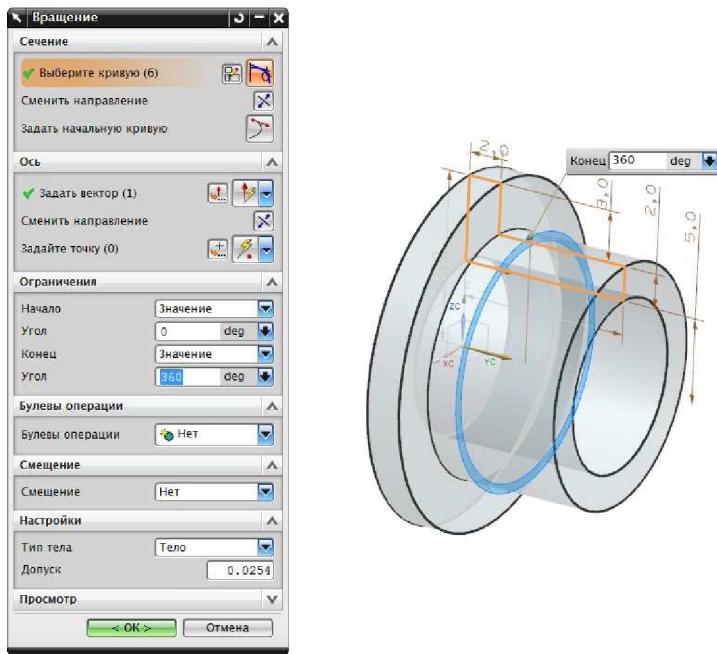


Рисунок 7 - Создание тела втулки вращением

Для построения лопатки создается вспомогательная плоскость, касательная к внешней поверхности втулки. Для определения однозначного положения касательной плоскости создается прямая, по которой вспомогательная плоскость касается базовой грани, рисунок 8.

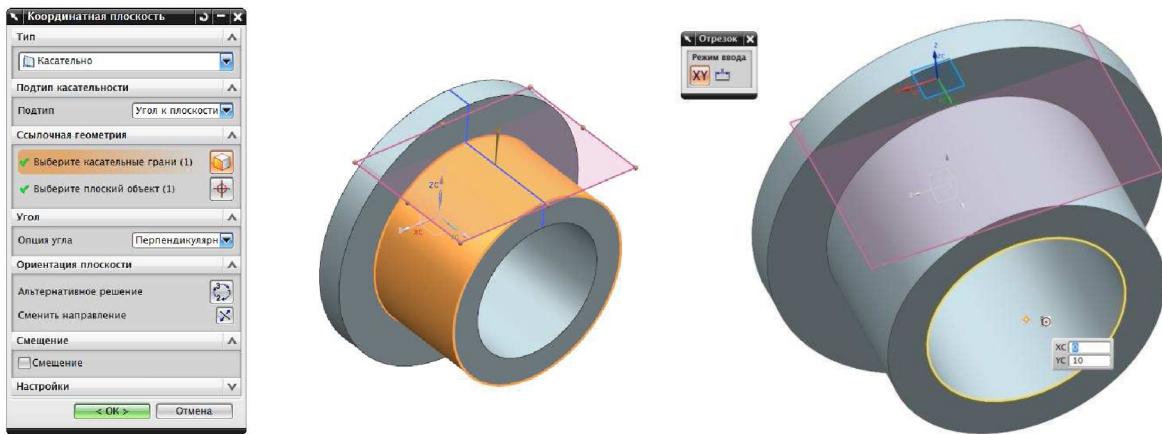


Рисунок 8 - Создание вспомогательной плоскости и вспомогательной линии

После этого необходимо выполнить на вспомогательной плоскости эскиз поперечного сечения лопатки в виде параллелограмма, наклоненного

под заданным углом к оси завихрителя. Для этого создаем вспомогательную прямую, играющую роль оси завихрителя, а затем проводим хорду лопатки, рисунок 9.

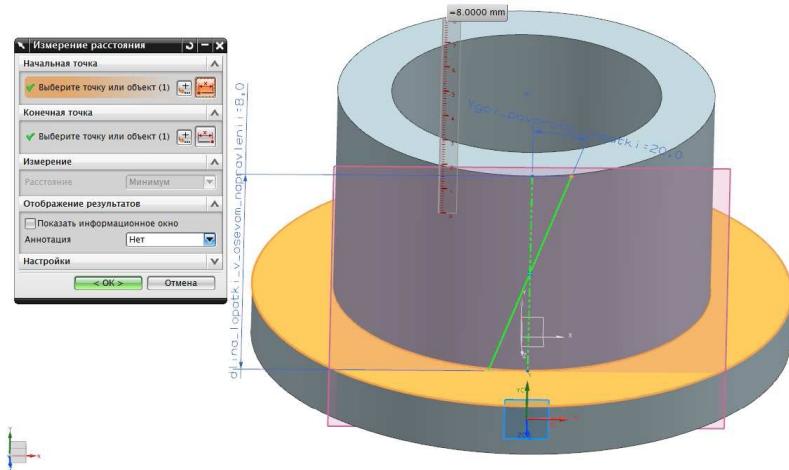


Рисунок 9 - Начало создания сечения лопатки

Выполняем построение сечения лопатки, рисунок 10.

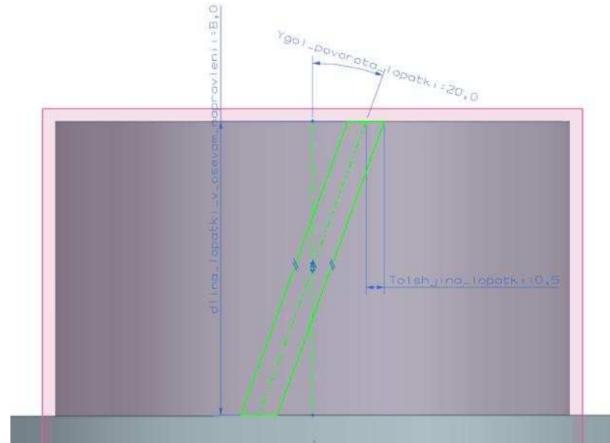


Рисунок 10 - Эскиз сечения лопатки завихрителя.

Переходим к созданию внешнего корпуса завихрителя, который создается с помощью операции «вращение». Лопатку создаем операцией «вытягивание». Границей вытягивания с одной стороны будет внутренняя поверхность корпуса, а с другой стороны внешняя поверхность втулки, рисунок 11.

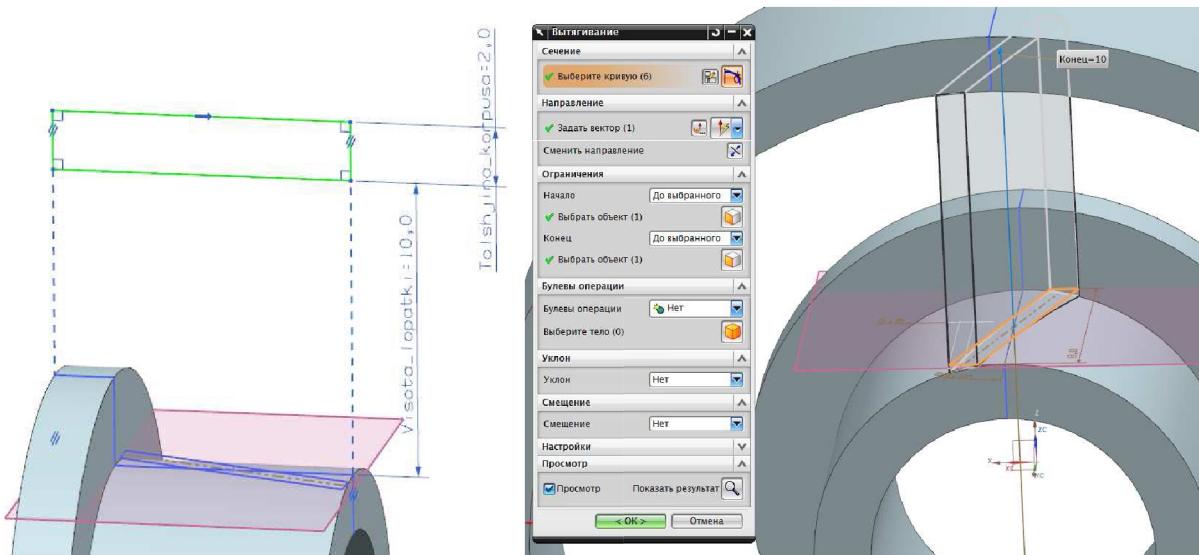


Рисунок 11 - Построение обечайки; вытягивание тела лопатки

Затем создаем круговой массив лопаток относительно оси завихрителя при помощи операции «геометрия массива». Число копий должно быть равно требуемому количеству лопаток. При этом необходимо, чтобы опция «скрыть оригинал» была включена, рисунок 12.

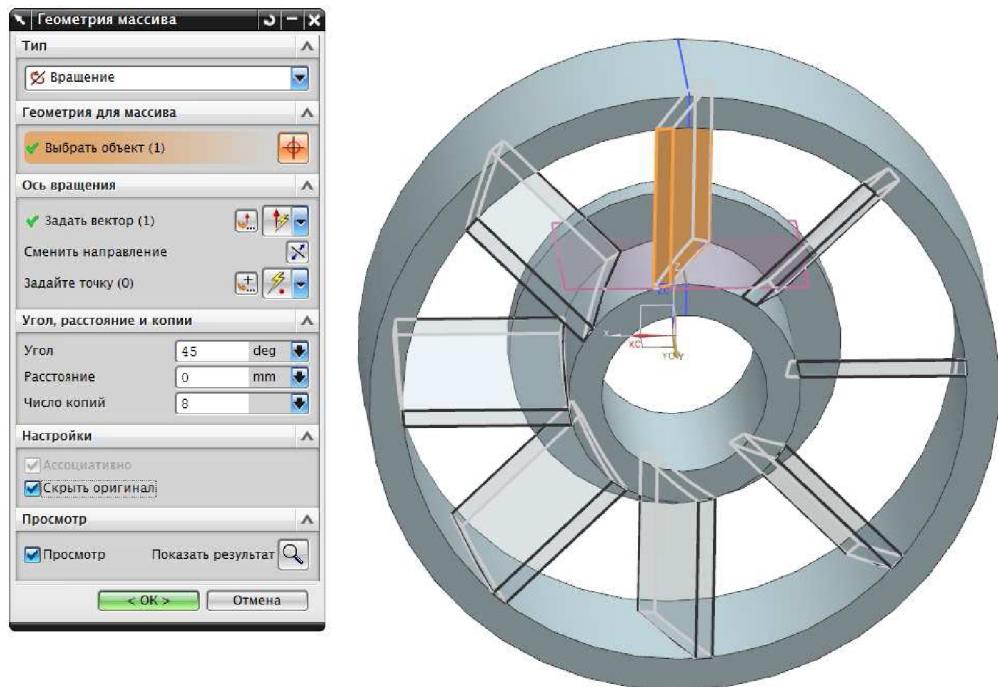


Рисунок 12 - Создание массива лопаток

При необходимости можно объединить все элементы завихрителя в одно тело при помощи булевой операции «*объединение*», добавить фаски, скругления и т.д.

4.2 Построение модели центробежной форсунки

Пример центробежной форсунки со шнеком приведен на рисунке 13.

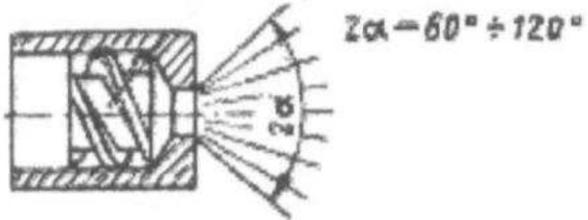


Рисунок 13 - центробежная форсунка со шнеком

Построение форсунки проводится следующим образом:

Операцией «вращение» получаем корпус форсунки. Аналогично создаем тело сопла форсунки, рисунок 14. При этом эскиз сопла форсунки должен быть связан геометрическими и размерными ограничениями с эскизом корпуса.

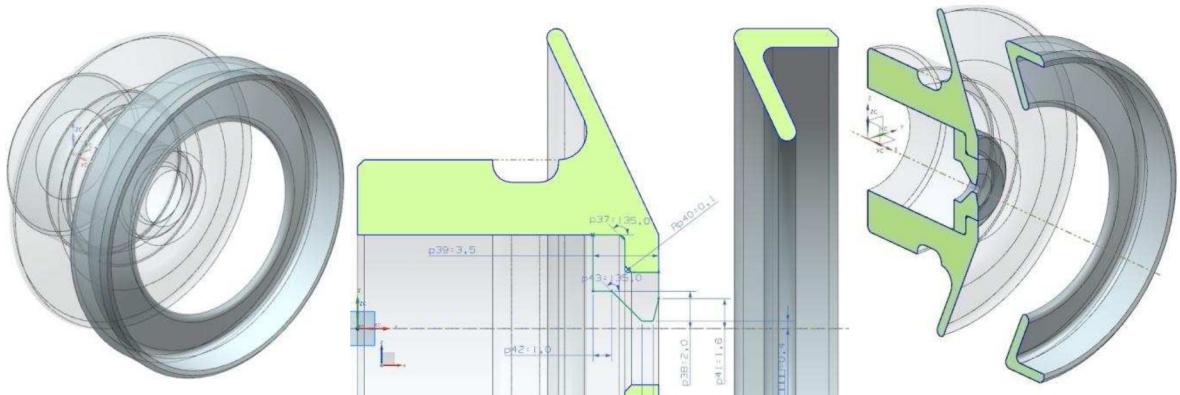


Рисунок 14 - Создание тел сопла и корпуса форсунки

Создаем вспомогательную плоскость для построения двух эскизов оснований лопатки, выполняем их и обмериваем его, рисунок 15;

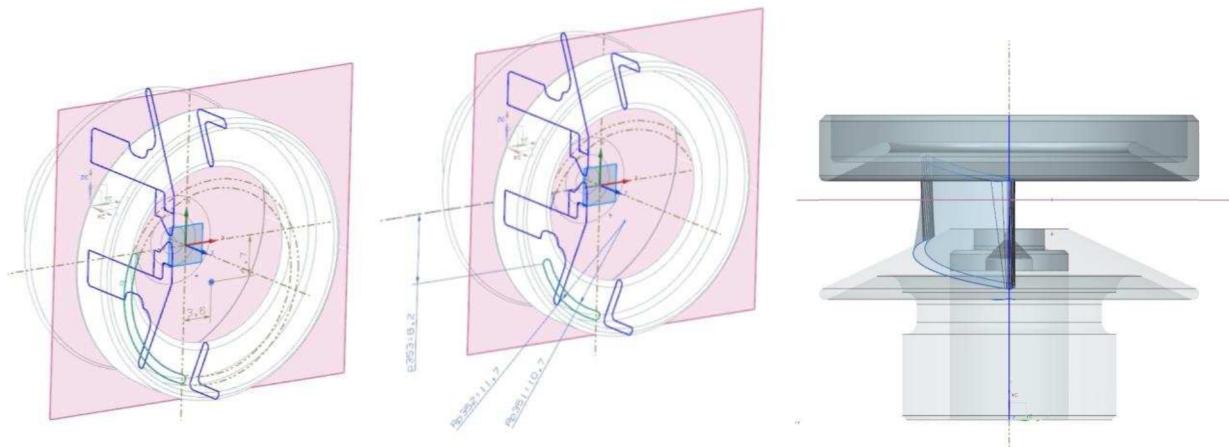


Рисунок 15 - Построение лопатки по сечениям

Проектируем основания лопатки на соответствующие плоскости. Операцией «Поверхность по сечениям» получаем тело лопатки. Создаем круговой массив лопаток вокруг оси завихрителя, рисунок 16;

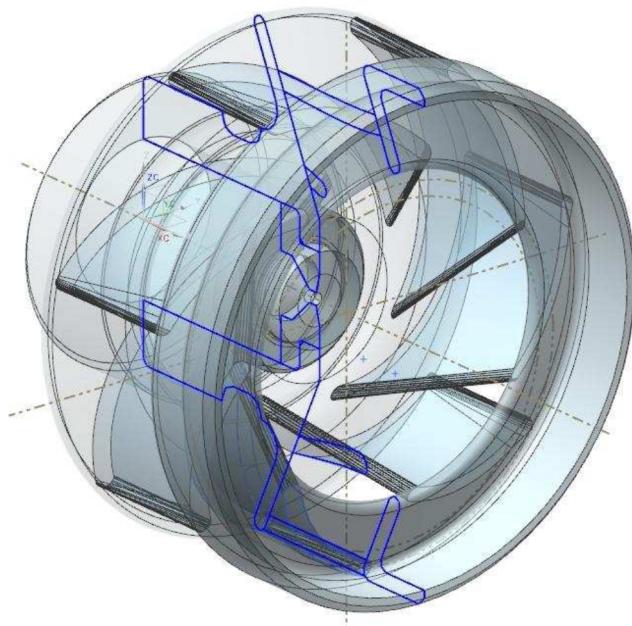


Рисунок 16 - Готовый корпус

Создаем эскиз шнека. Позиционируем его относительно корпуса завихрителя. Вращением получаем тело шнека. Скругляем необходимые ребра, создаем фаски рисунок 17.

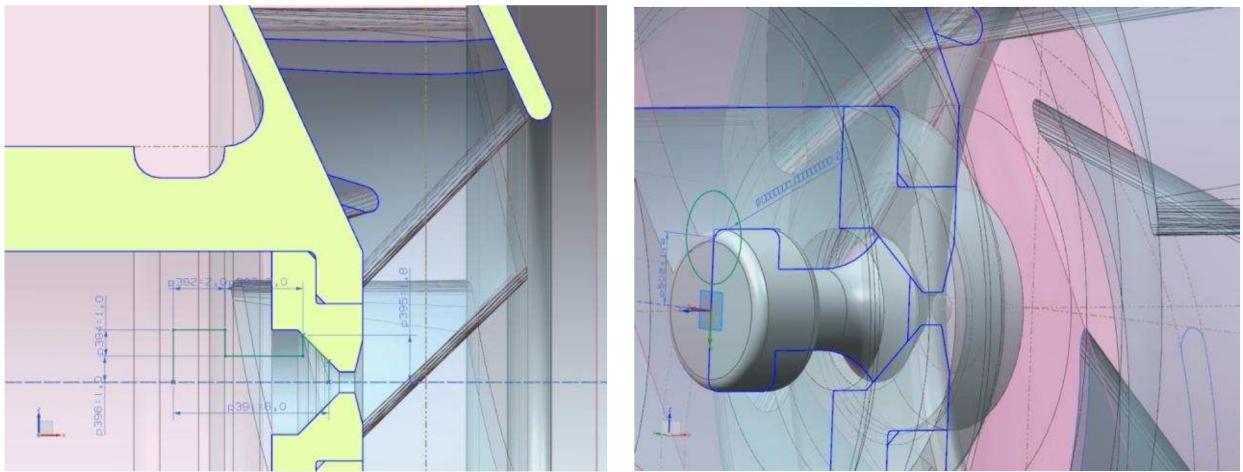


Рисунок 17 - Построение шнека

Для выреза паза создаем эскиз сечения паза на основании шнека. Выдавливанием получаем паз с помощью булевой операции. Создаем круговой массив пазов операцией «Элемент массива», рисунок 18;

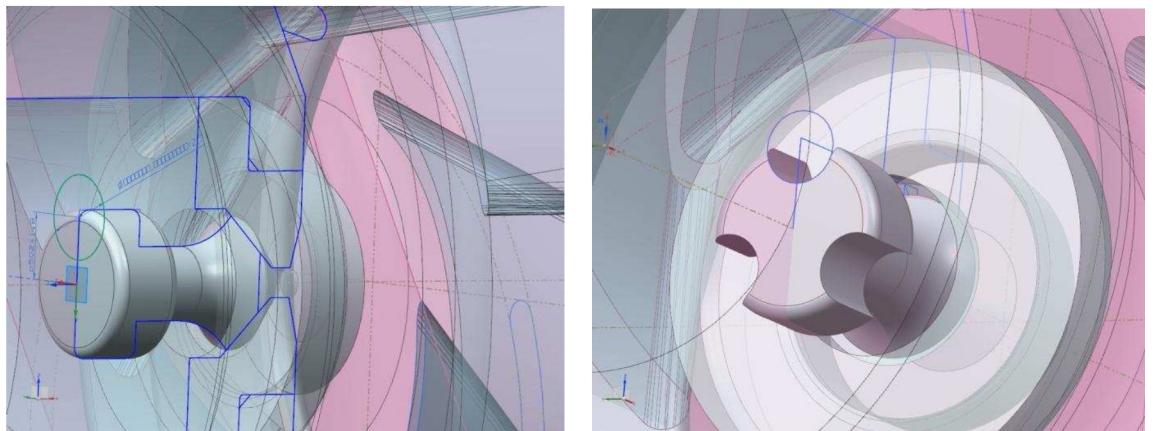


Рисунок 18 - Построение пазов

Для задания направляющей канавки шнека создаем вспомогательную плоскость под нужным углом к оси шнека. Находим пересечение этой плоскости с поверхностью шнека. Полученная линия будет являться направляющей канавки. Проводим построение профиля паза и затем операцией «Заметание вдоль направляющей» с булевой операцией – «вычитание» получаем канавку, рисунок 19.

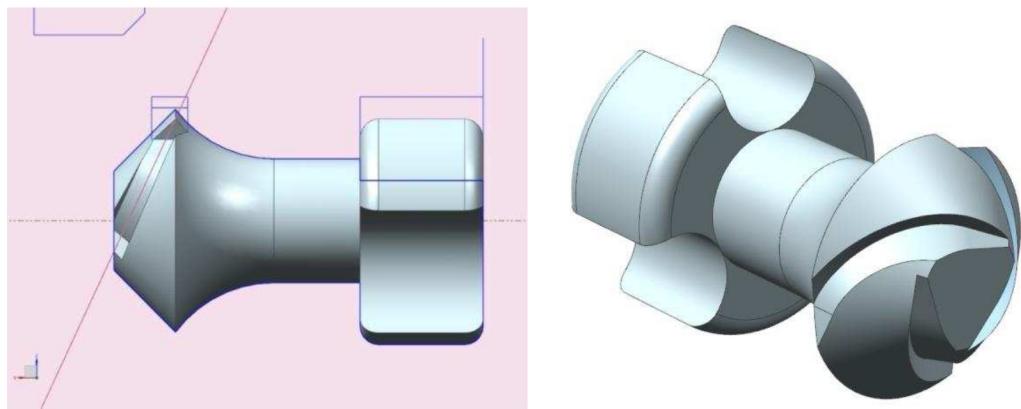


Рисунок 19 - Построение канала закрутки; шнек

Создаем круговой массив вырезов операцией «Элемент массива».

Создаем спираль с нужным основанием, количеством витков и требуемым их шагом, рисунок 20.

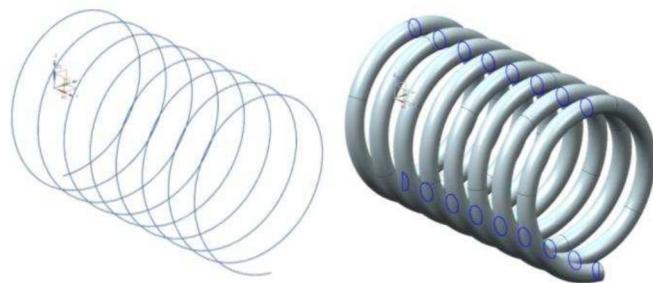


Рисунок 20 - Спираль и пружина

Выполнив фаски и мелкие детали у элементов, проводим сборку. Полученная модель показана на рисунке 21.

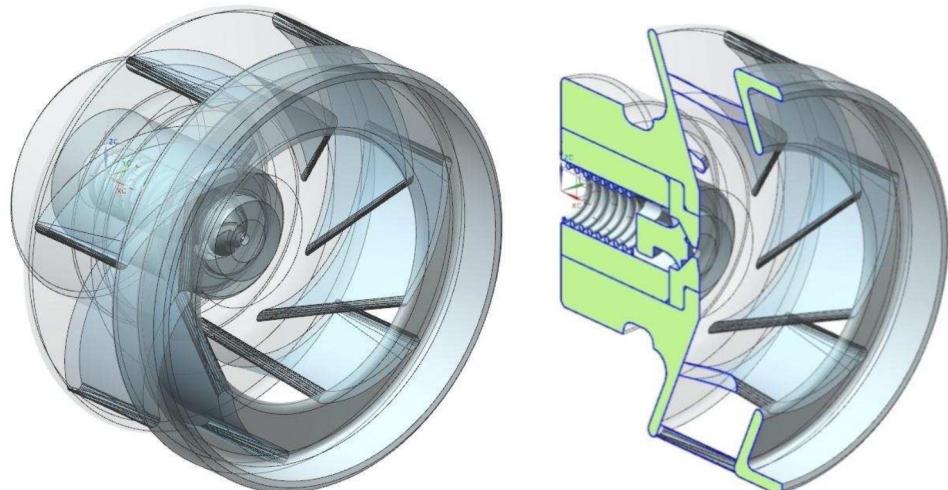


Рисунок 21 - Готовая модель

Для построения струйной форсунки достаточно проделать те же действия, кроме построения шнека и пружины. Вместо этого выполняется построение корпуса струйной форсунки и массива отверстий на нем, рисунок 22

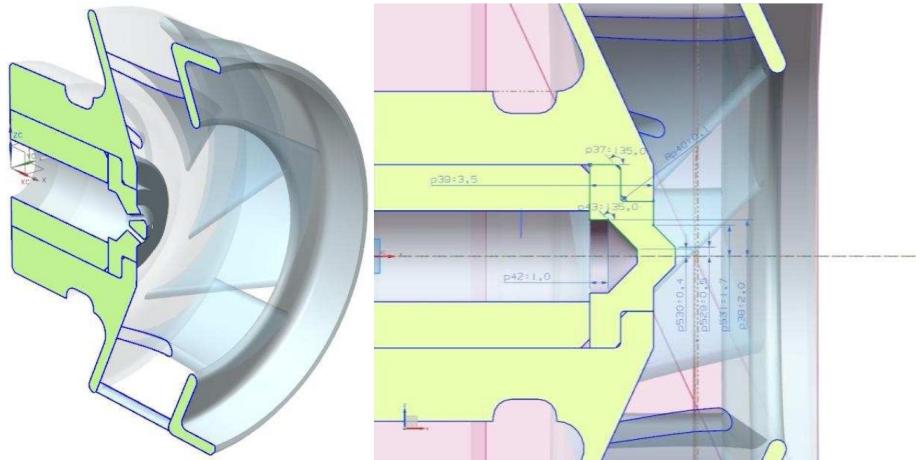


Рисунок 22 - Струйная форсунка

4.3 Построение геометрической модели жаровой трубы

4.3.1 Построение модели трубчатой камеры сгорания

Рассмотрим построение камеры сгорания двигателя ВК-1. Ее жаровая труба имеет осесимметричную конструкцию, поэтому за базу 3D- модели можно взять профиль жаровой трубы (в масштабе 1:1), который может быть получен измерениями натурного образца и построен в графическом пакете КОМПАС, рисунок 23.

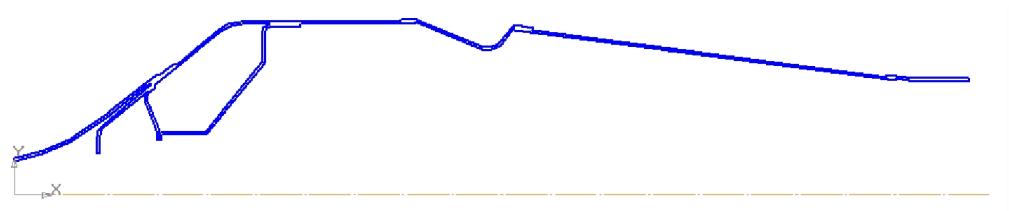


Рисунок 23 - Профиль жаровой трубы

Сохраненный в формате IGES (*.igs) профиль, затем импортируем в UGS NX, рисунок 24.

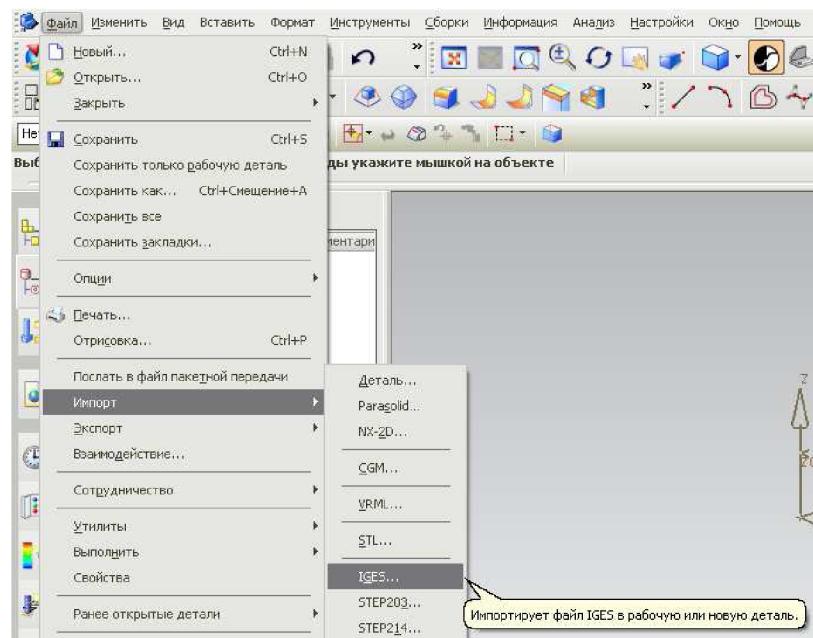


Рисунок 24 - Импорт

Импортированные кривые не являются параметрическими, для работы с ними нужно перенести в эскиз с помощью функции «Добавить существующие кривые», рисунок 25. Далее создаем на основе эскиза тело вращения.

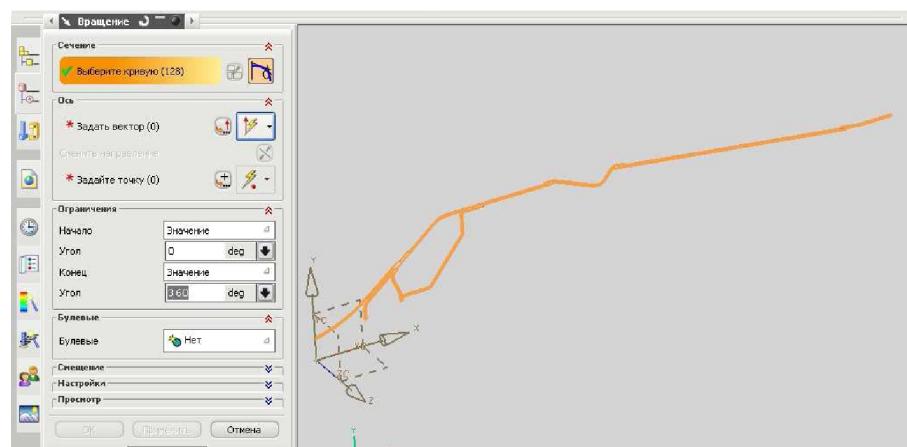


Рисунок 25 - Импортированная геометрия

Следующим шагом создания модели является расположение и создание отверстий необходимых диаметров на определенных расстояниях путем использования дополнительных координатных плоскостей и операций «Отверстие» и «Массив элементов», рисунок 26.

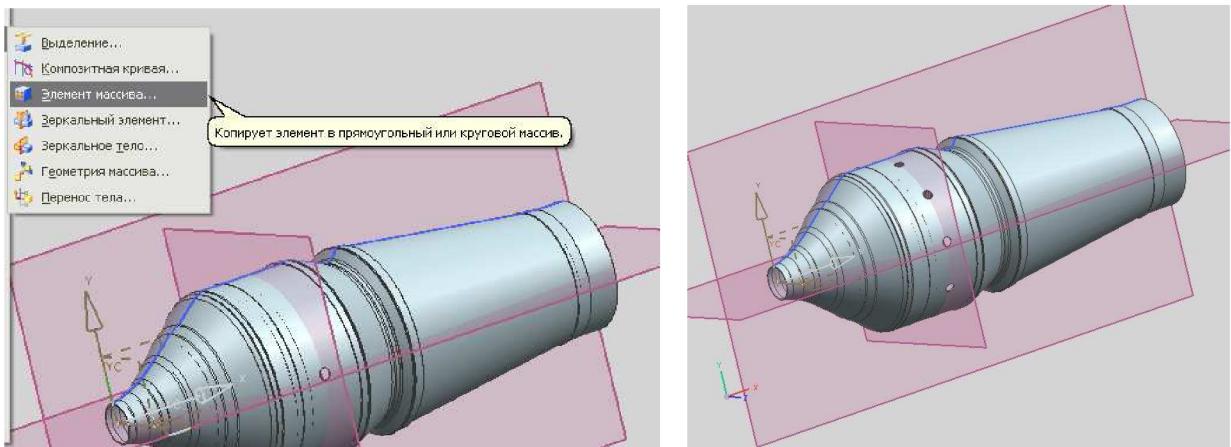


Рисунок 26 - Построение отверстий

Получаем готовую модель жаровой трубы, рисунок 27.

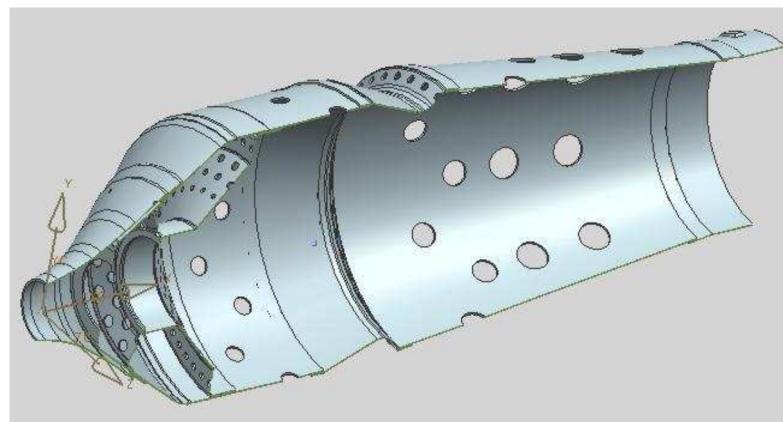


Рисунок 27 - Готовая модель

4.3.2 Построение кольцевой камеры сгорания

В качестве примера рассмотрим построение трехмерной геометрической камеры сгорания двигателя НК-56, выполненное на базе ее чертежа в КОМПАС-ГРАФИК.

Контуры камеры сгорания и ось двигателя переносим в отдельный фрагмент и проводим окончательное редактирование (убираем лишние линии, штриховку, от отверстий оставляем только осевые линии), рисунок 28.

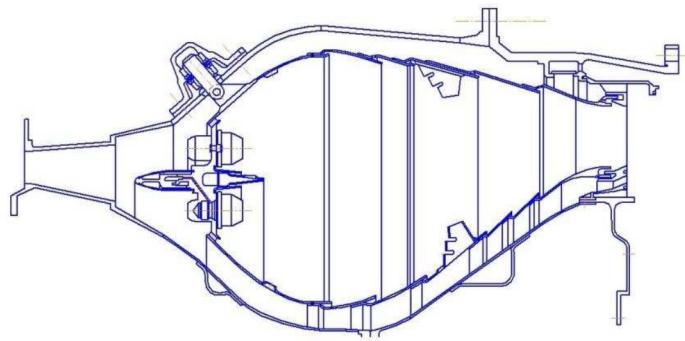


Рисунок 28 – Чертеж КС

Проводим экспорт геометрии из КОМПАС-ГРАФИК в формате *.dwg,. Затем импортируем полученный файл в NX. Выделив профиль, используем операцию «Добавить существующие кривые» для проецирования полученных линий в эскиз.

У камеры сгорания кольцевого типа жаровая труба является телом вращения, осью которого служит ось ротора двигателя. Поэтому для получения модели жаровой трубы в объёме используем операцию «вращение», рисунок 29.

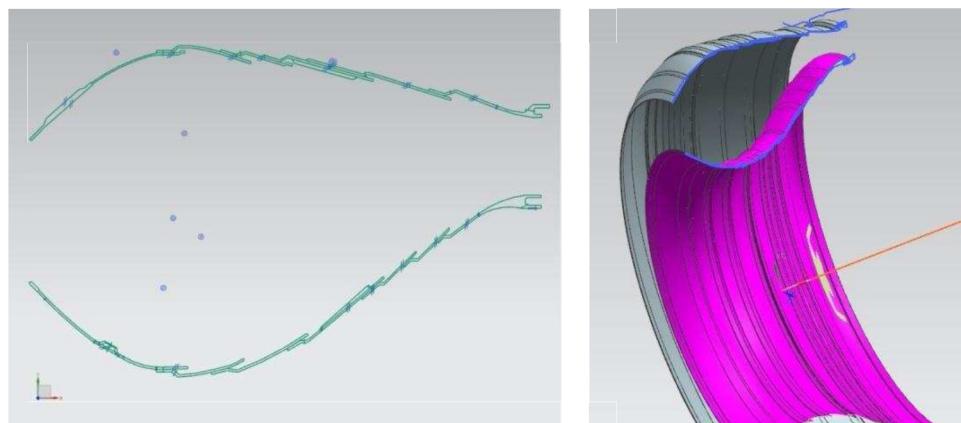


Рисунок 29 - Эскиз и использование операции вращение

Создание отверстий проводится аналогично случаю с трубчатой жаровой трубой. Для позиционирования отверстий используется вспомогательная геометрия, а для создания нужного их количества - операция кругового массива, рисунок 30.

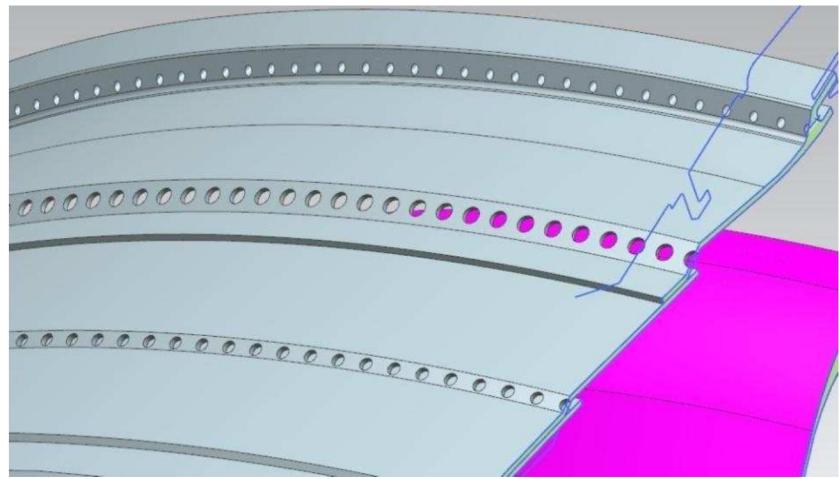


Рисунок 30 - Создание массива отверстий

Далее можно переходить к формированию конструктивных элементов подвода вторичного воздуха. Отверстия с загнутыми краями можно выполнить следующим способом. Построение вспомогательной плоскости для базирования эскиза, создание самого эскиза, использование операции «вытягивание», построение сквозного отверстия, построение фасок или скруглений, рисунок 31.

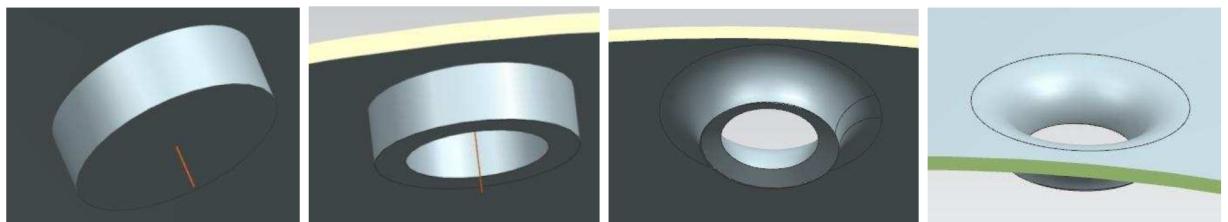


Рисунок 31 - Этапы построения отверстия с загнутыми краями

4.3.3 Построение кармана подвода вторичного воздуха

Одним из самых сложных для построения элементов в конструкции жаровой трубы, являются воздухоподводящие патрубки. Принципиально возможно использование нескольких способов их построения, рассмотрим один из них.

Воздухоподводящий патрубок удобно строить по сечениям, так как обычно сечение патрубка плоскостью, параллельной основанию,

представляет собой фигуру, похожую на овал и состоящую из двух дуг, расположенных друг против друга и соединенных отрезками прямых линий.

Строим сечение основания кармана. Привязываем центр сечения к началу координат (рабочего или глобального). Получим эскиз, представленный на рисунке 32.

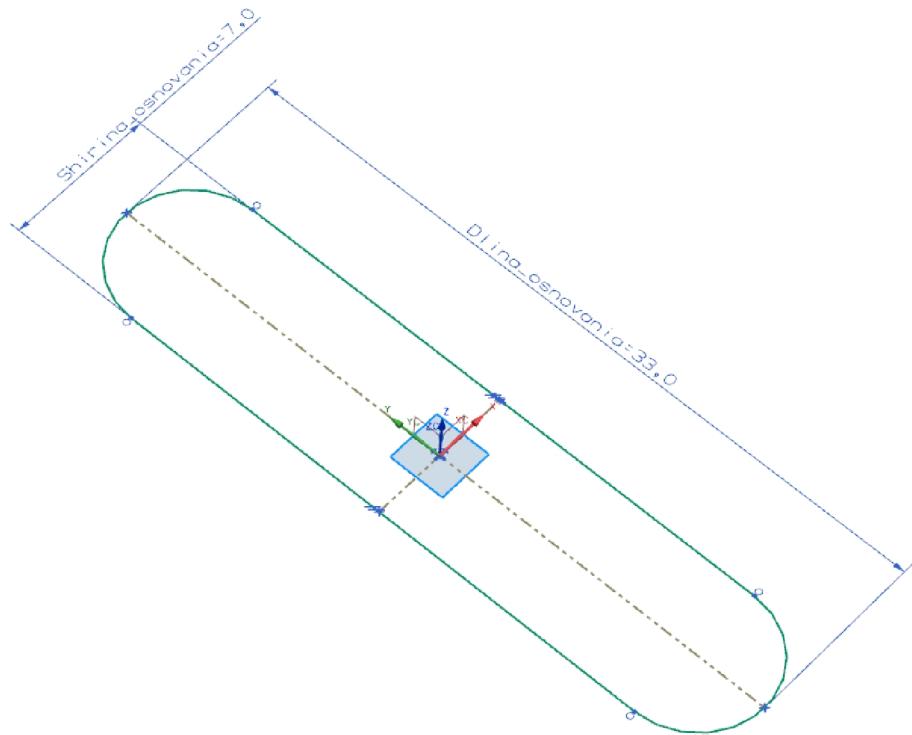


Рисунок 32 - Эскиз основания

В плоскости симметрии кармана проводим прямую линию под определенным углом к основанию, являющуюся образующей при построении тела кармана по сечениям, рисунок 33. Длина прямой должна быть больше чем высота детали.

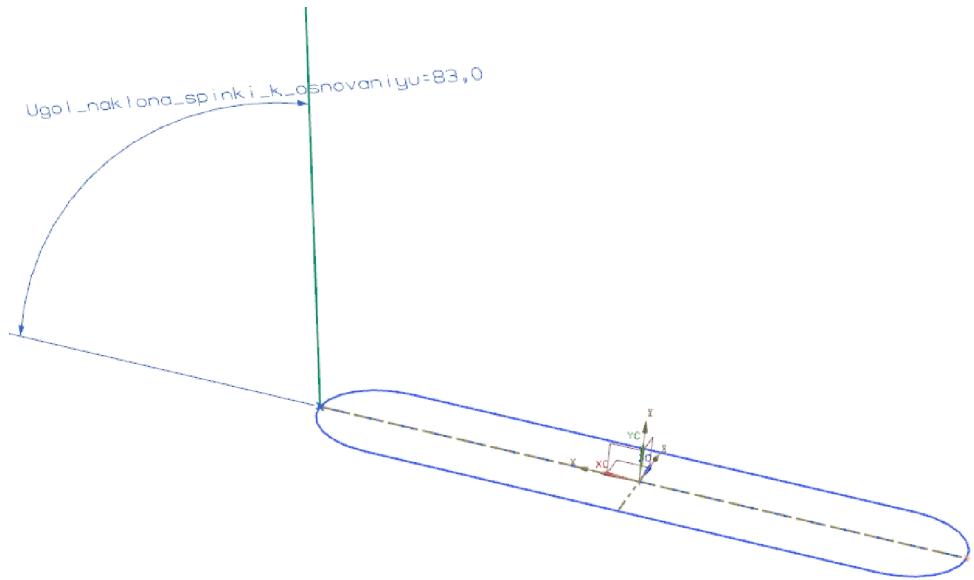


Рисунок 33 - Построение образующей спинки патрубка

Второе сечение создаем на требуемом расстоянии от первого. При построении второго сечения создаем вспомогательную плоскость на нужном расстоянии от плоскости первого сечения. Создаем точку пересечения образующей и плоскости второго сечения. Чтобы привязать эскиз к образующей, необходимо создать точку пересечения этой прямой и плоскости, на которой будет расположена эскиз. Чтобы связь между созданной точкой и её родительскими объектами (плоскость и прямая) не разрывалась при изменении геометрии, необходимо в меню создания точки активировать опцию «*Ассоциативно*» в пункте «*Настройки*», рисунок 34.

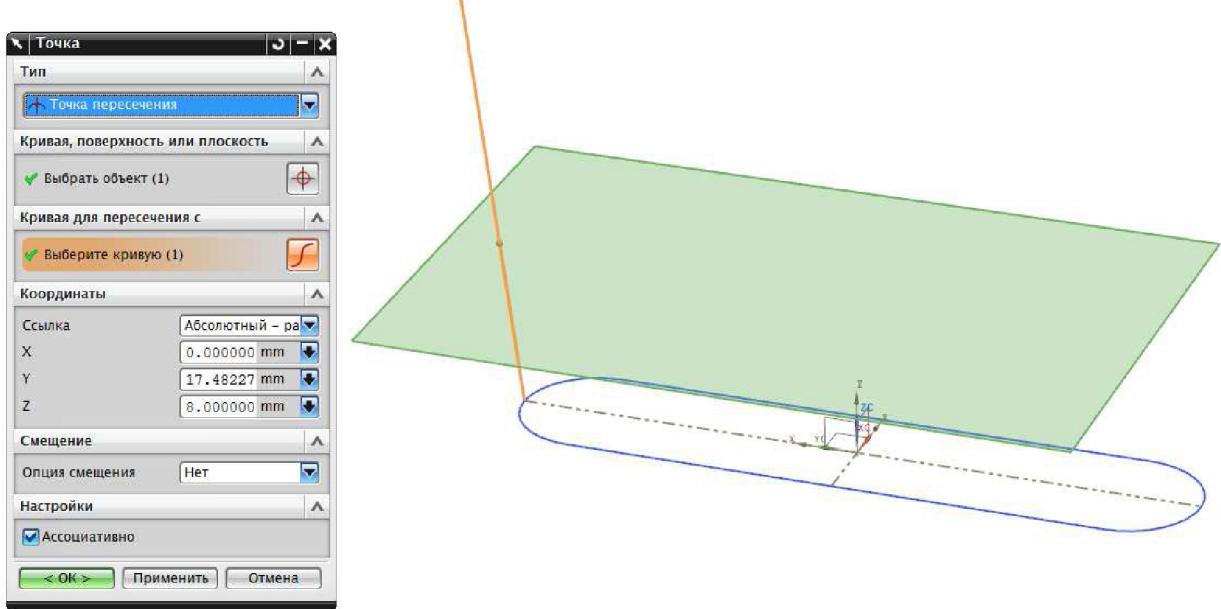


Рисунок 34 - Создание ассоциативной точки в плоскости второго сечения

Создаем второе сечение аналогично сечению основания, с тем отличием, что оно привязано к точке пересечения направляющей и плоскости базирования эскиза, рисунок 35.

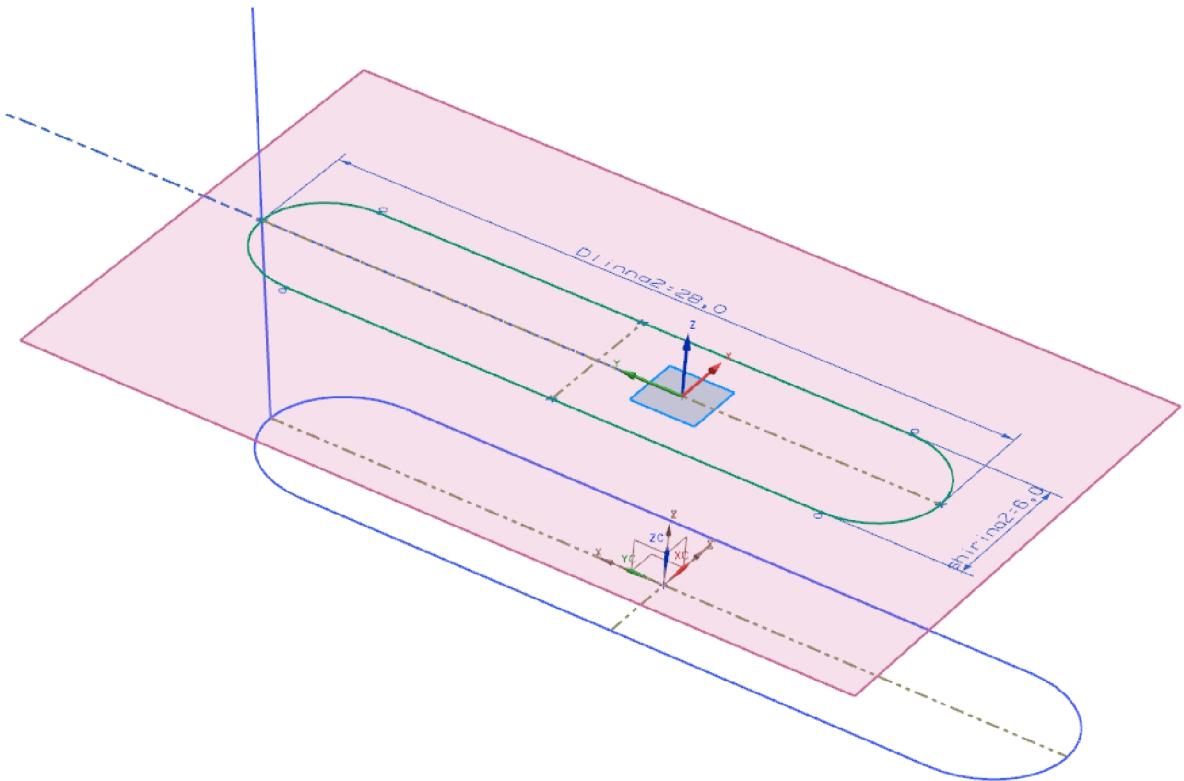


Рисунок 35 - Создание второго сечения

Аналогично создаются третье сечение в плоскости второго сечения, за счет чего формируется уступ. Затем на необходимом удалении от основания строится третья плоскость и в ней - четвертое сечение, рисунок 36.

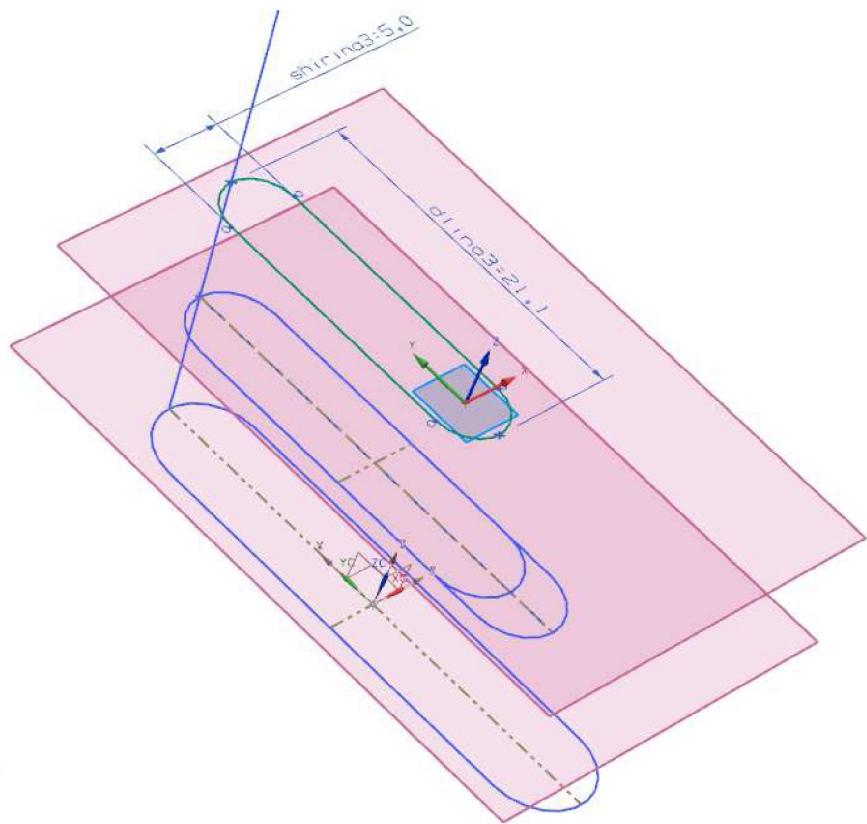


Рисунок 36 - Построение четвертого сечения

Операцией «Заметание» (**Вставить > Заметание > Заметаемая поверхность**) выбираем сначала основные линии первого эскиза, затем нажимаем кнопку «Добавить новый набор» и указываем линии второго эскиза. Направляющей выбираем наклонную линию спинки кармана. При этом учитываем направление выбора линий в каждом сечении, которые должны совпадать и начинаться в схожих точках, рисунок 37. Последовательно соединяем все эскизы.

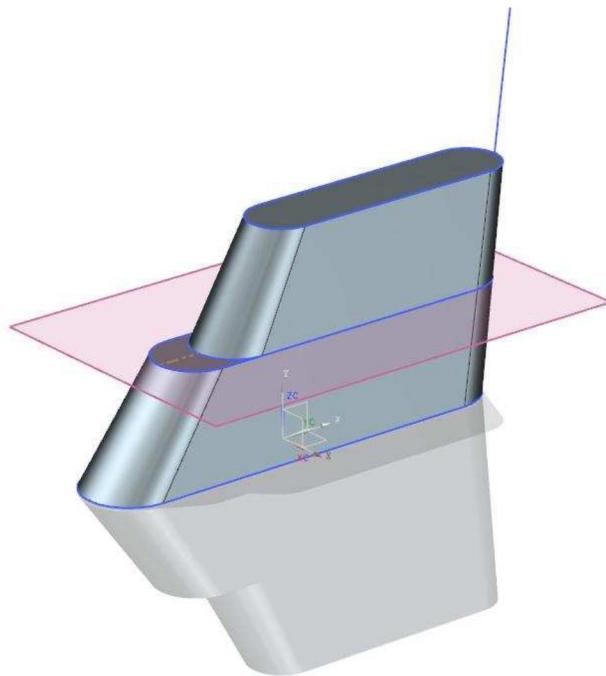


Рисунок 37 - Формирование кармана

Операцией «Оболочка» задаем толщину стенки кармана, убирая внутренний материал. Получаем предварительную модель, рисунок 38.



Рисунок 38 - Предварительная модель кармана

В плоскости симметрии кармана создаем эскиз паза под нужным углом к вспомогательной плоскости, рисунок 39. Привязываем нижний угол эскиза к краю модели на первой вспомогательной плоскости, т.е. конечной точке второго сечения.

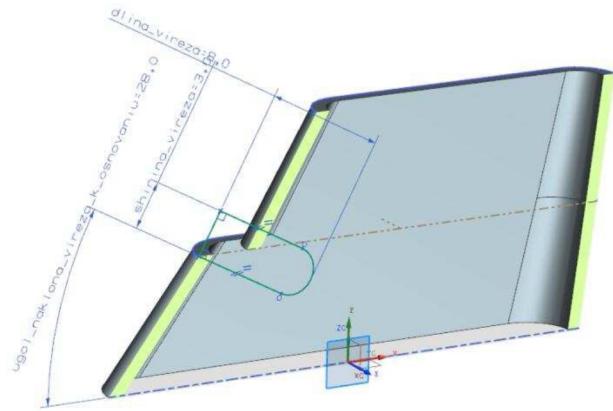


Рисунок 39 - Формирование эскиза выреза

Операцией «Вытягивание» с булевой операцией «Вычитание» вырезаем паз из кармана, рисунок 40.

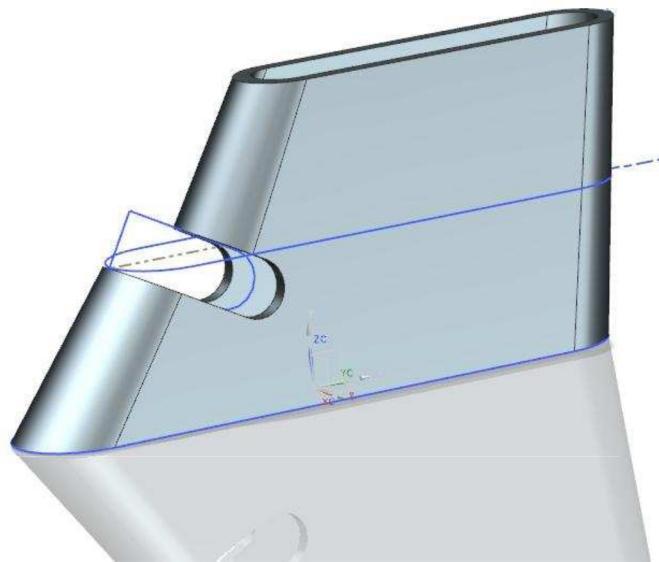


Рисунок 40 - Вырезание паза

Построение кармана (количество потребных сечений) определяется его чертежом. Последующие сечения и вырезы строятся аналогично описанным выше, рисунок 41.

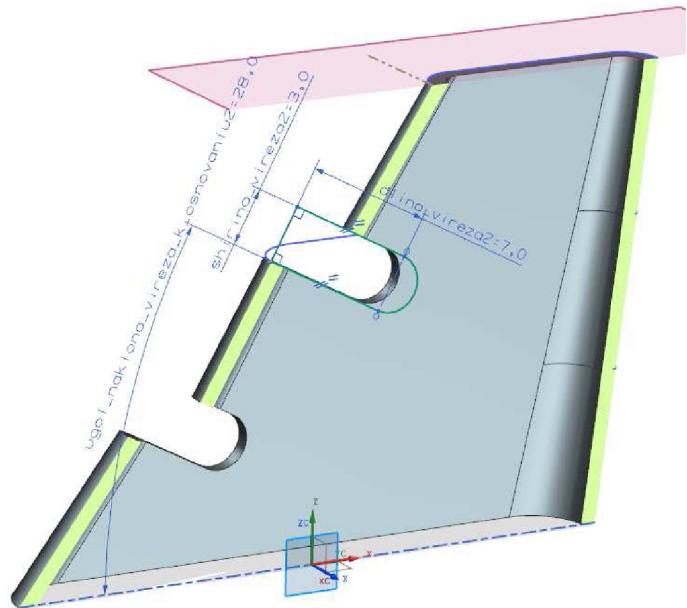


Рисунок 41 - Предварительная модель кармана

Выполняем срез верхней части кармана плоскостью, построенной под углом к последнему сечению кармана. Операцией «Обрезка тела» отделяем верхнюю часть модели относительно новой плоскости, рисунок 42.

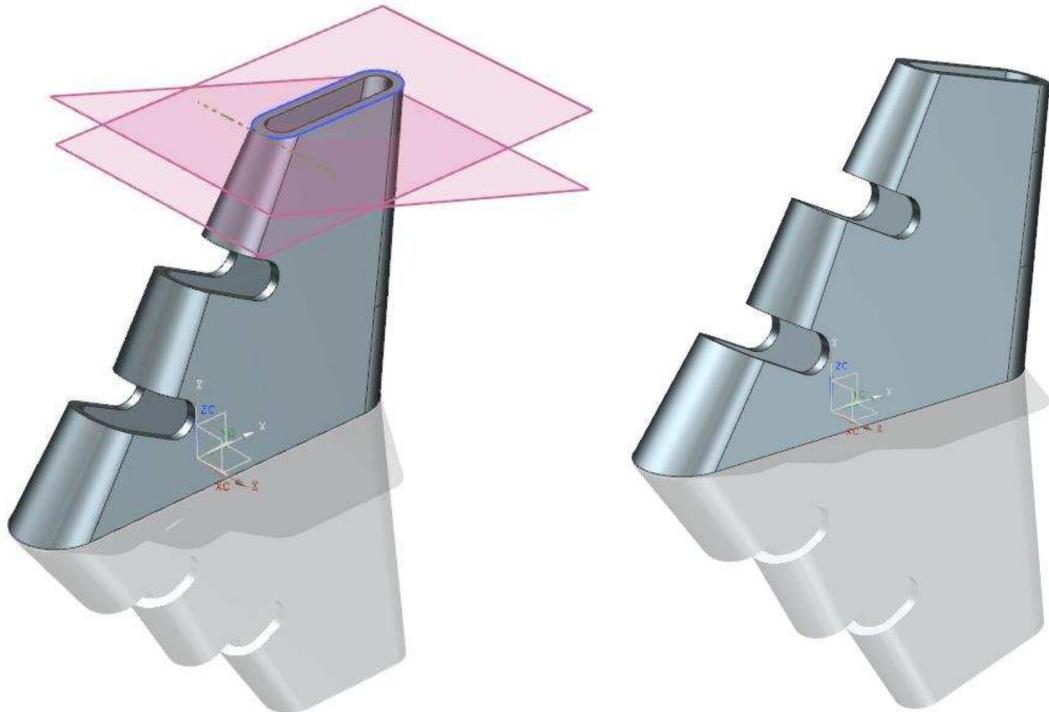


Рисунок 42 - Формирование верхней части кармана

Булевой операцией «Объединение» собираем все элементы кармана в одно целое.

4.4 Корпус камеры сгорания

Построение корпуса камеры сгорания проводится аналогично построению жаровой трубы, (для трубчатой и кольцевой камер сгорания). На рисунке 43, показано построение корпуса кольцевой камеры сгорания.

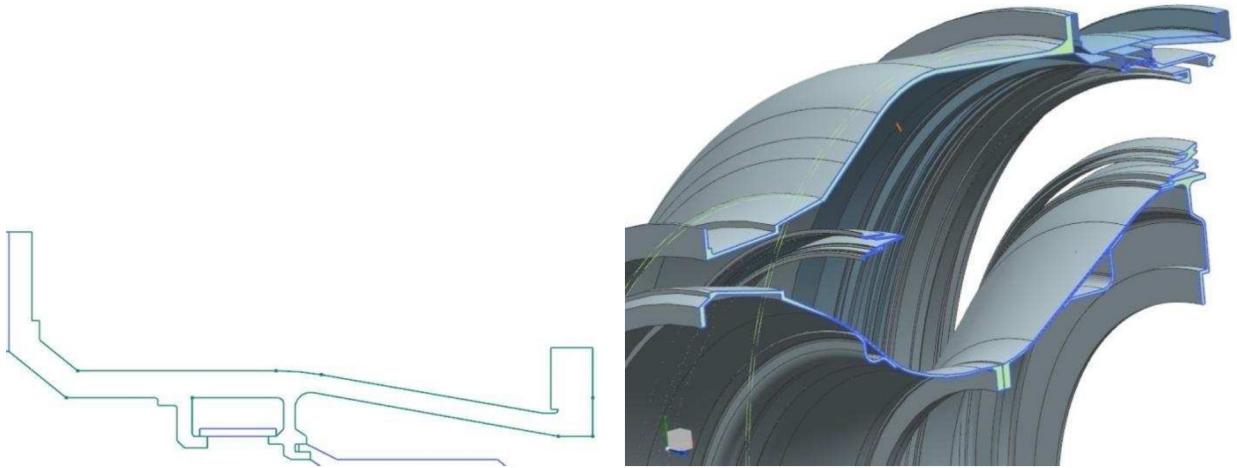


Рисунок 43 - Добавленные в эскиз кривые и общий вид корпуса камеры сгорания

Для трубчато-кольцевой камеры сгорания построение корпуса аналогично кольцевой камере сгорания. Поэтому при построении общей модели в сборке позиционирование ее жаровых труб производится относительно оси двигателя с использованием операции кругового массива.

4.4.1 Построение выходного патрубка камеры сгорания

Выходной патрубок состоит из двух фланцев (одного в виде кольца, другого – в виде сегмента) и соединяющей их поверхности. Построение выходного патрубка индивидуальной камеры сгорания выполняем в следующей последовательности.

Выбираем плоскость базирования эскиза. Строим эскиз присоединительного кольца, позиционируем его относительно начала координат, обмериваем, накладываем необходимые ограничения. В этой же плоскости, но уже в другом эскизе создаем сплайн – линии (две вверху и

две внизу), образующие боковой контур патрубка, соединяем их линиями по краям и обозначив, рисунок 44.

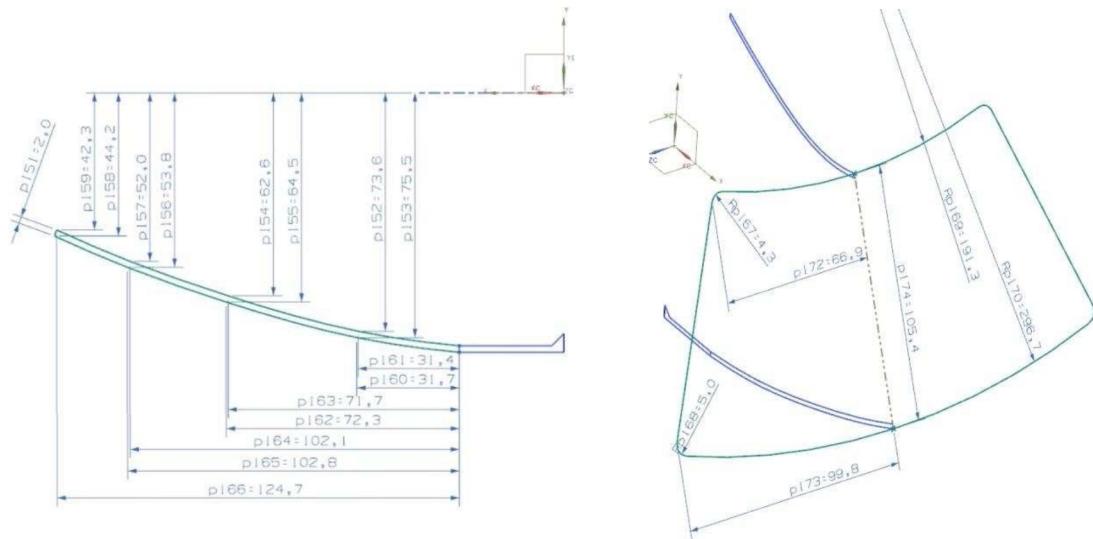


Рисунок 44 - Базовый эскиз

Выполняем построение присоединительного кольца операцией вращение, рисунок 45.

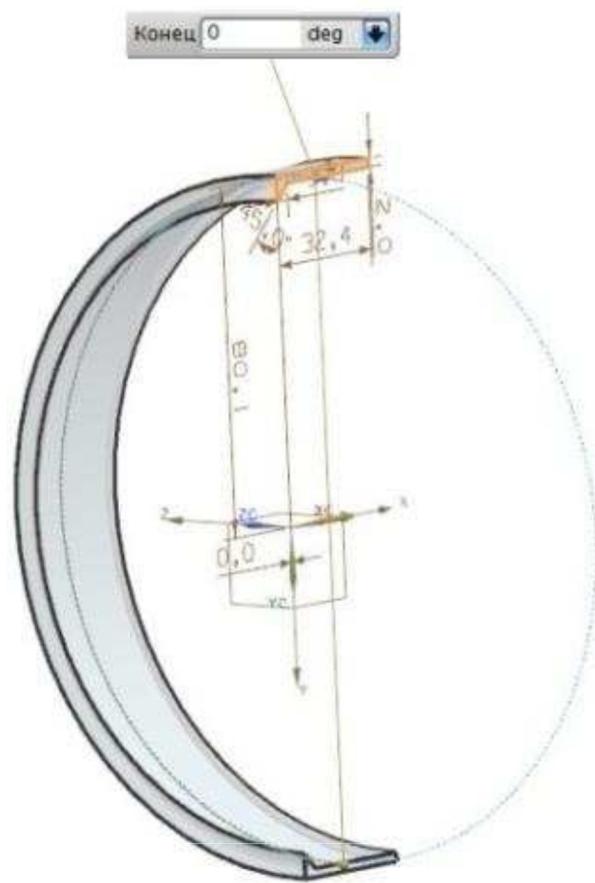


Рисунок 45 - Построение тела присоединительного кольца

На необходимом расстоянии от присоединительного кольца проводим построение выходного сечения патрубка. Строим две концентрические окружности с центром на оси ротора двигателя и вырезаем требуемый угловой сектор. Соединяем концы дуг отрезками, скругляем необходимые углы. Операцией смещение создаем внутренний контур сечения, рисунок 46.

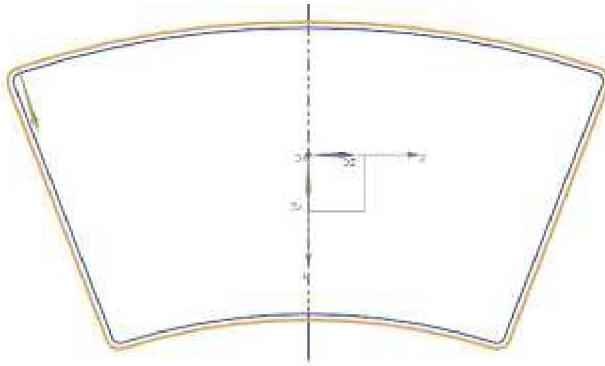


Рисунок 46 - Построение выходного сечения

Создаем плоскость, проходящую через ось симметрии выходного сечения и присоединительного кольца. В этой плоскости проводим построение образующих бокового контура - линий, ограничивающих внутренний и наружный контур патрубка и соединяющих точки пересечения выходных сечений с построенной плоскостью. С помощью операции заметания вдоль кривой формируем внутреннюю и наружную поверхности патрубка, соединяющие присоединительные фланцы. Начальным сечением внутренней поверхности выбираем внутреннее ребро присоединительного кольца, конечным сечением выбираем внутренний контур выходного сечения. В качестве кривых выбираем линии бокового контура патрубка.

Создаем плоскости, замыкающие тело патрубка с фланцев, для этого воспользуемся операцией «ограниченная плоскость», рисунок 47.

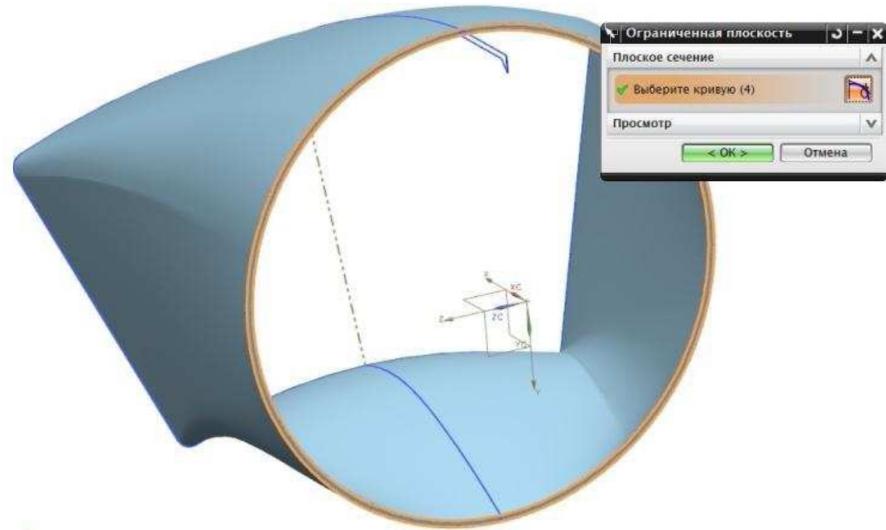


Рисунок 47 - Ограниченнная плоскость

Операцией «*Сливка*» создаем твердое тело патрубка из полученных ранее связанных поверхностей. Булевой операцией «*Объединение*» собираем все элементы (кольцо и патрубок) в одно тело, рисунок 48;

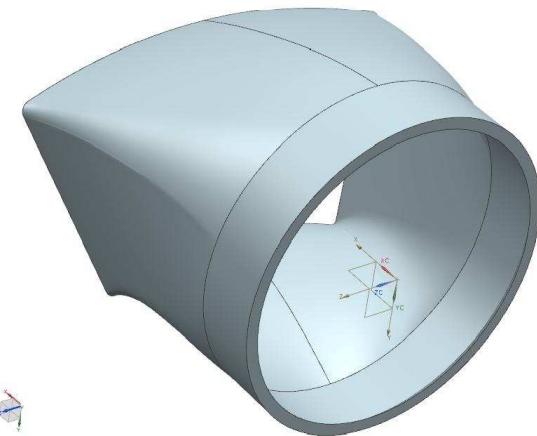


Рисунок 48 - Готовый патрубок

5 Создание сборки камеры сгорания на базе готовых элементов

Построение сборки камеры сгорания для лучшей наглядности и упрощения выполним на примере построения сборки модельной камеры сгорания микро - ГТД. Для построения сборки камеры сгорания необходимо наличие моделей всех ее основных элементов, рисунок 49. Каждый элемент должен быть сохранен в отдельном файле.

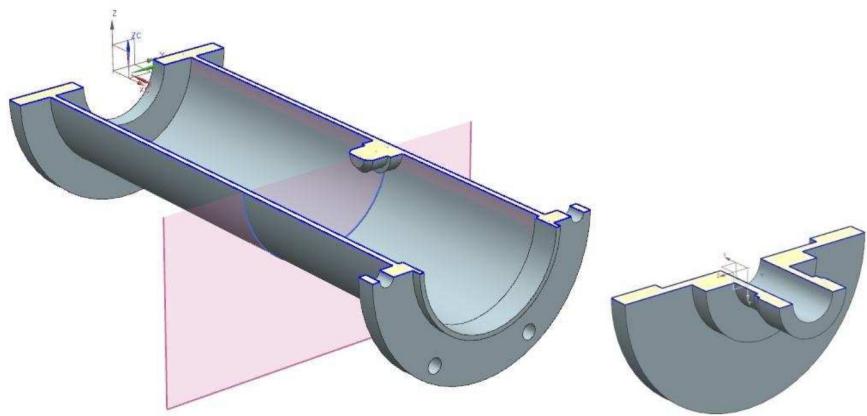


Рисунок 49 - Корпус со свечой и фланец

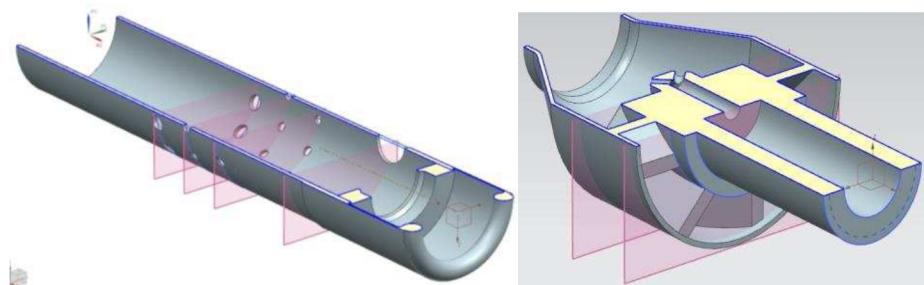


Рисунок 50 - Жаровая труба и завихритель с форсункой

Открываем все созданные файлы. Создаем файл с типом «Сборка» и добавляем в него по очереди все созданные компоненты, начиная с корпуса и далее в порядке реальной сборки. Корпус необходимо базировать относительно глобальной системы координат. Остальные компоненты позиционируем относительно корпуса при помощи различных условий сопряжения. Так например, жаровую трубу базируем условием концентричности и совпадением соответствующих ребер. Далее выполняем

создание трубопроводов и других элементов, которые невозможно выполнить без привязки более чем к одному элементу.

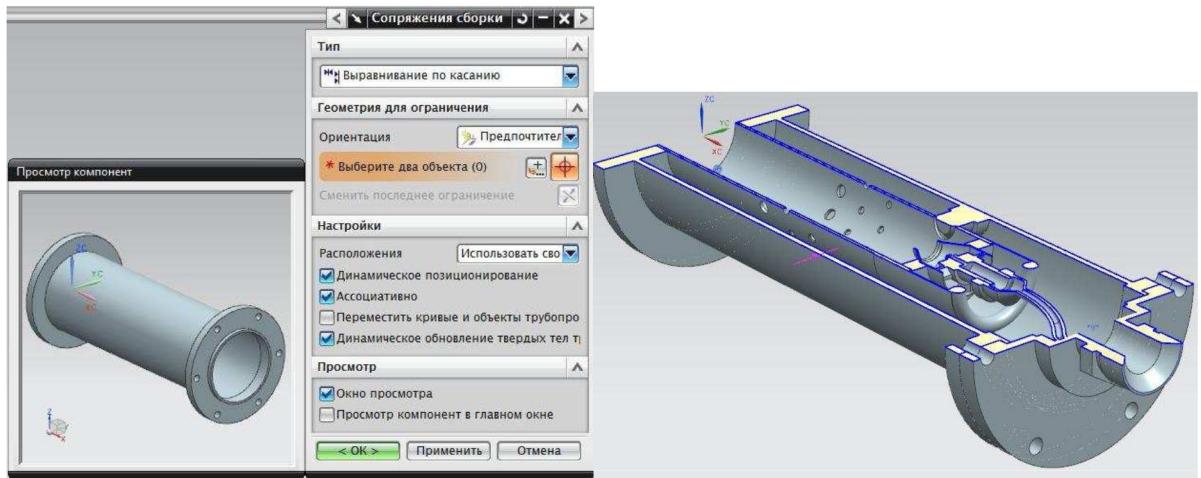


Рисунок 51 - Добавление компонент и сопряжения

6 Создание газодинамической области. Использование wave-технологии

После завершения сборки для последующих газодинамических расчетов с помощью метода конечных объемов необходимо выделить внутреннюю область. Воспользуемся WAVE-технологией в следующей последовательности. Упрощаем геометрию камеры сгорания, удаляя несущественные детали (фаски, скругления), не вносящие изменений в структуру потока. Включаем режим «WAVE» и создаем деталь со связью, чтобы модель области течения отслеживала изменение геометрической модели. Связанными деталями в нашем случае являются все твердотельные элементы сборки. Создаем твердое тело по внешним поверхностям модели, включая ее торцевые поверхности входа и выхода, используя операцию «сшивка», рисунок 52. Из полученного тела булевой операцией «вычитание» поочередно вырезаем все элементы, выполненные на реальной камере из металла.

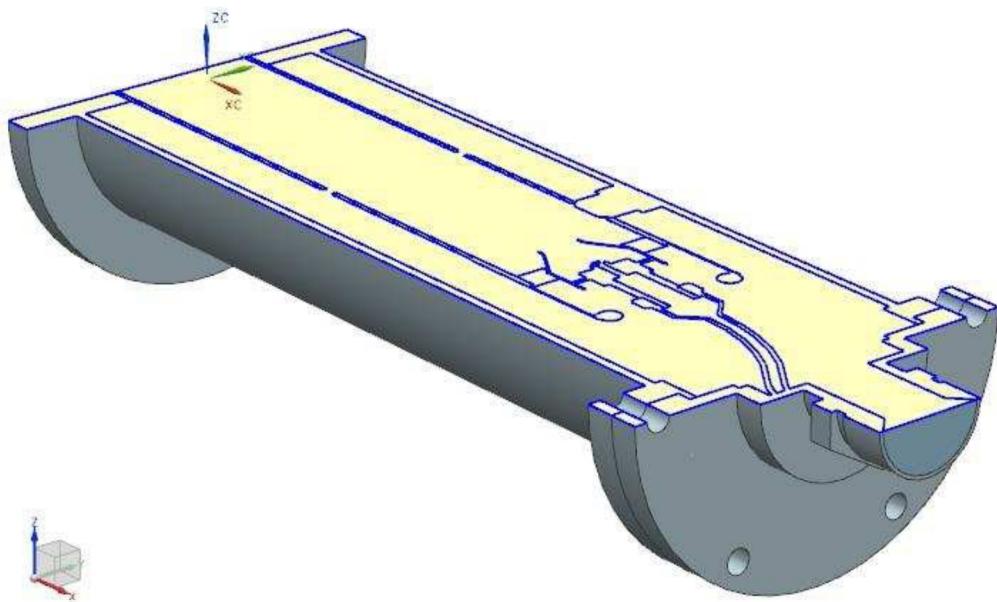


Рисунок 52 - Модель с областью течения

При данном алгоритме сформированная внутренняя область, рисунок 53, будет отслеживать все изменения геометрии камеры сгорания без

непосредственного изменения в самом файле геометрии газодинамической области.

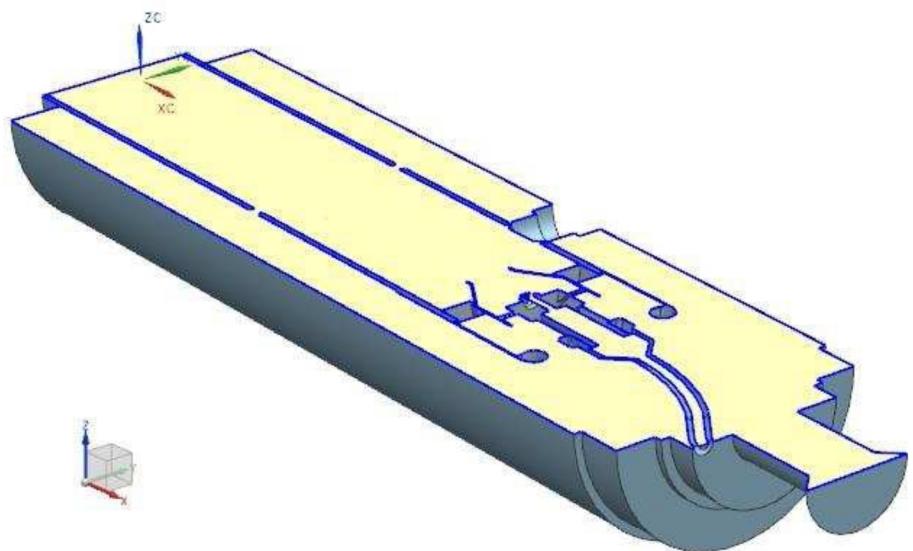


Рисунок 53 - Сформированная газодинамическая область течения

7 Порядок выполнения комплекса лабораторных работ и содержание отчета по ним

Комплекс лабораторных работ выполняется в следующей последовательности.

Лабораторная работа №1-«Построение геометрической модели завихрителя».

1. Студенты с помощью данного методического пособия и объяснений преподавателя знакомятся с методикой построения завихрителя.
2. Преподаватель, разбив студентов на подгруппы, выдает каждой подгруппе персональное задание на построение 3D модели завихрителя, на основе плоского чертежа.
3. Студенты проводят построение моделей завихрителя.
4. По результатам работы каждый студент отчитывается индивидуально.

Лабораторная работа №2 «Построение геометрической модели жаровой трубы»

1. Студент получает от преподавателя чертежи жаровой трубы индивидуальной или кольцевой камеры сгорания.
2. С помощью данного пособия студент знакомится с методикой построения жаровой трубы.
3. Студент выполняет построение 3D-модели жаровой трубы.
4. Отчет студента по результатам его работы.

Лабораторная работа №3 «Построение корпуса камеры сгорания»

1. Студент получает задание на построение корпуса индивидуальной или кольцевой камеры сгорания в виде ее чертежей.
2. С помощью данного пособия студент знакомится с методикой построения корпуса камеры сгорания.

3. Используя опыт построения жаровой трубы и данное пособие, студент выполняет построение 3D модели корпуса.

4. Отчет студента по построению модели.

8 Контрольные вопросы к отчету по лабораторной работе

1. Какие операции включает в себя методика построения 3D модели данного элемента камеры сгорания?
2. Какую другую последовательность действий можно предложить для построения данной модели?
3. Какой вариант построения данной модели оптimalен с точки зрения временных затрат на его построение?
4. Какой вариант построения данной модели наиболее просто реализуется в используемом пакете?
5. Какие инженерные расчеты могут быть выполнены на базе построенной модели и что еще необходимо сделать для их реализации?
6. Как выполнить сборку построенных моделей?
7. Какова последовательность действий по созданию газодинамической области на базе данной модели?

Учебное издание

Матвеев С.Г., Лукачев С.В., Орлов М.Ю., Анисимов М.Ю., Зубрилин И.А.

**СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ВИРТУАЛЬНЫХ
МОДЕЛЕЙ КАМЕР СГОРАНИЯ**

Учебное пособие

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального

образования

«Самарский государственный аэрокосмический

университет имени академика С.П. Королева»

(национальный исследовательский университет)

443086, Самара, Московское шоссе, 34.