

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»  
(Самарский университет)

Л.А. ЧЕМПИНСКИЙ

БИБЛИОТЕКА 3D ПРМ БЭФ:  
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕЛ И ПОВЕРХНОСТЕЙ.  
РЕШЕНИЕ МЕТРИЧЕСКИХ И ПОЗИЦИОННЫХ ЗАДАЧ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве практикума для студентов, обучающихся по программе высшего образования по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2017

УДК 004.925.8 (075)

ББК 32.973.26я7

Ч-426

Рецензент д-р техн. наук, проф. В. Б. Б а л я к и н

*Чемпинский, Леонид Андреевич*

Ч-426 **Библиотека 3D ПРМ БЭФ: моделирование сложных тел и поверхностей. Решение метрических и позиционных задач: практикум / Л.А. Чемпинский.** - Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. - 46 с.: ил.

**ISBN 978-5-7883-1355-9**

Рассмотрены основные принципы и приёмы геометрического моделирования сложных тел и поверхностей с использованием библиотек объёмных параметрических базовых элементов формы (3D ПРМ БЭФ) в среде САD модуля отечественной САD/САM/САPP системы АDEМ VХ. Приведены примеры решения позиционных и метрических задач.

Практикум предназначен для выполнения студентами младших курсов лабораторных работ в компьютерном классе, а также самостоятельной работы дома. Может быть использован школьниками, учащимися колледжей, студентами старших курсов, а также учителями и преподавателями на занятиях ФПК.

УДК 004.925.8 (075)

ББК 32.973.26я7

ISBN 978-5-7883-1355-9

© Самарский университет, 2017

## Содержание

Введение .....	4
Урок 1. Объемные геометрические модели параметрических БЭФ.....	5
Урок 2. Редактирование параметрических моделей библиотеки БЭФ.....	9
Урок 3. Аффинные преобразования одного и группы БЭФ.....	13
Урок 4. Тела вращения, конические сечения, развертки.....	18
Урок 5. Логические (булевы) операции. Позиционные и метрические задачи.....	22
Урок 6. Моделирование деталей из БЭФ.....	27
Урок 7. Топологические преобразования поверхности. Работа с узлами.....	31
Урок 8. Топологические преобразования поверхности. Работа с сечениями.....	36
Урок 9. Топологические преобразования поверхности. Работа с сечениями (продолжение).....	40
Список литературы.....	45

## Введение

Для обеспечения конкурентоспособности создаваемых изделий путем снижения сроков проектирования и изготовления, уменьшения себестоимости и значительного повышения качества конструкторско-технологическая подготовка производства в настоящее время предполагает использование 3D моделей изделий, их узлов и деталей. Такой подход обеспечивает также возможность оценки работоспособности и технического обслуживания разрабатываемых конструкций в условиях эксплуатации, создания в автоматизированном режиме необходимой технической документации для разработки путей и способов их изготовления и контроля с применением новых технологий, оборудования и инструмента.

Переход на безбумажные, с использованием компьютера технологии, когда информация создается, хранится и используется в едином информационном пространстве в электронном виде, требует выполнения новых условий при подготовке специалистов, понимания ими принципов функционирования прикладных программ, их классификации и возможностей использования в конкретных целях, устойчивых навыков работы в диалоговом режиме. При этом безбумажная графическая подготовка является основой сквозной подготовки современного специалиста.

Для обеспечения подготовки специалистов для инновационного машиностроения в учебном процессе института двигателей и энергетических установок (ИДЭУ) Самарского университета принята концепция виртуального предприятия, которая предполагает приобретение знаний и навыков студентами путем имитационного моделирования, в частности, сквозного конструкторско-технологического проектирования в среде единого информационного пространства (ЕИП) института.

Геометрические модели используются для решения многих задач: визуализации, построения расчетных сеток, генерации управляющих программ ЧПУ и т.д. В первую очередь, они предназначены для хранения информации о форме объектов и их взаимном расположении и предоставления ее для обработки в удобном для компьютерной программы виде. В этом - ключевое отличие электронной геометрической модели от чертежа, который представляет собой условное символично-графическое изображение, предназначенное для чтения человеком.

Цели и задачи практикума продиктованы основными **требованиями** современного авиадвигательного производства к уровню геометро-модельной подготовки (ГМП) специалиста:

-создание геометрических моделей объекта производства, его деталей, технологических схем оборудования, средств технологического оснащения, формообразующего, обрабатывающего и мерительного инструмента на основе 3D моделирования, в том числе параметрического для типовых изделий;

-автоматизированный выпуск комплектов конструкторской и технологической документации по 3D моделям различных изделий на основе технологии баз данных в среде единого информационного пространства (ЕИП).

## Урок 1. Объемные геометрические модели параметрических БЭФ

### 1.1 Запуск системы

До начала работы с системой ADEM создайте папку с Вашим именем, в которой будут храниться файлы с информацией, созданной Вами в процессе работы.

Запуск системы осуществляется любым стандартным способом запуска приложений для установленной версии Windows. При этом на экране монитора появляется функциональное меню модуля ADEM CAD системы (рисунок 1.1).

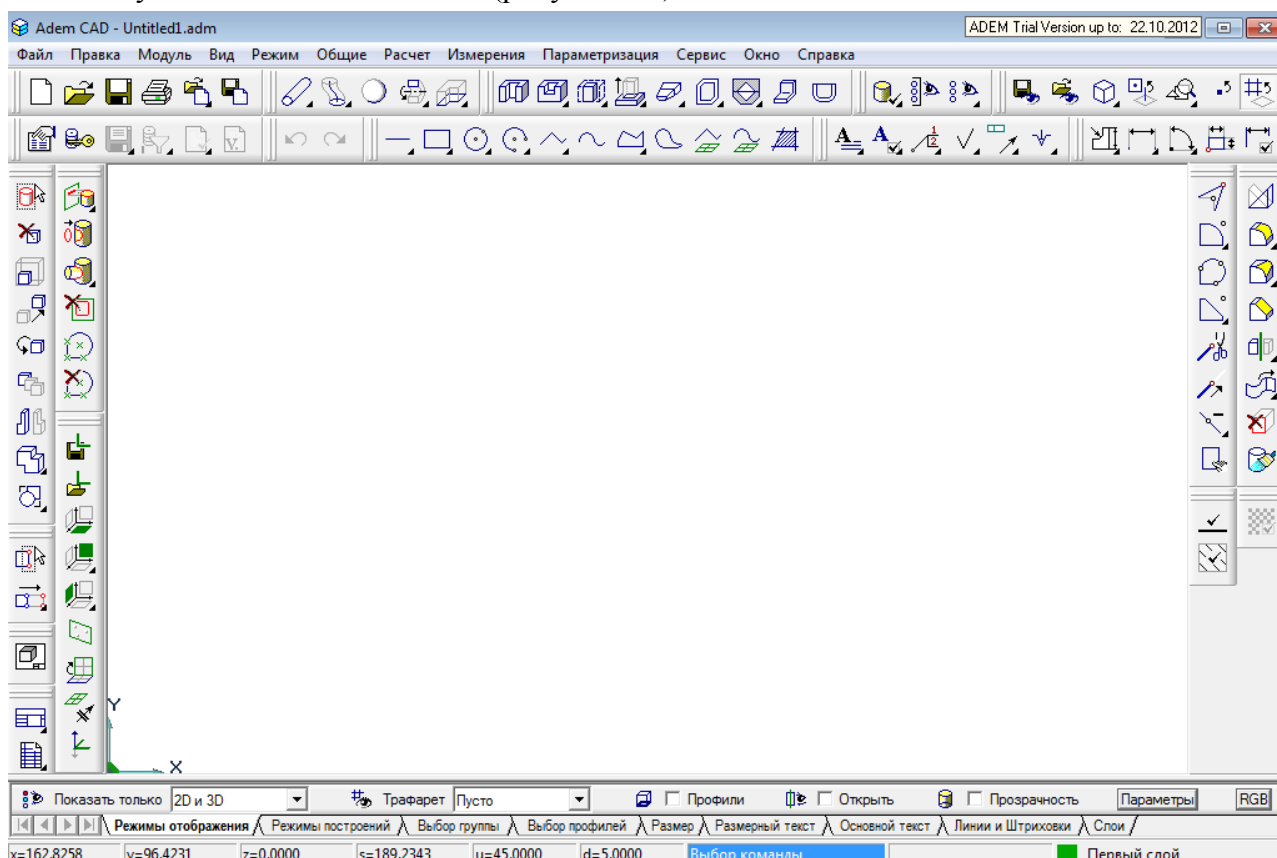


Рисунок.1.1 - Меню ADEM CAD

Рабочее поле модуля ADEM CAD окружено полями функционального меню.

### 1.2 Управление курсором

Обратите внимание на указатель (курсор) в виде стрелки. Перемещение курсора может осуществляться как с помощью устройства “мышь” (в дальнейшем по тексту просто мышь), так и с помощью клавиатуры. При помощи цифровой клавиатуры можно перемещать курсор с заданной величиной шага и под заданным углом. Изменить величину шага и/или угла движения курсора можно в любой момент, например, при создании и редактировании элементов.

Значения шага и угла перемещения курсора отображаются в нижней строке меню и по умолчанию установлены **5** миллиметров и **45** градусов. Чтобы задать шаг и/или угол движения курсора последовательно нажмите клавиши **D** или **U** на клавиатуре или последовательно щелкните левой кнопкой мыши на поля **d=** или **u=** в нижней строке меню.


Внизу рабочего поля появится строка ввода значений. Введите новые значения перемещения курсора и нажмите кнопку **ОК** или клавишу **Enter**. Попробуйте ввести несколько значений и возвратитесь к его исходному значению.

Начало координат системы находится в нижнем левом углу рабочего поля. Убедитесь в этом, нажав **Home**. Когда курсор установится в начало координат, значения X, Y, Z нижней строки обнулятся. Положение курсора на рабочем поле можно задать, вводя численные значения координат **X**, **Y**, **Z** так же, как значение шага и угла перемещения курсора. Установите курсор в точку с координатами  $X = 50$ ,  $Y = 70$  (значение по Z останется равным нулю, так как в этом случае ось Z перпендикулярна плоскости экрана).

### 1.3 Формы представления, чтение и удаление модели с рабочего поля

При наведении указателя мыши на поле меню, рядом с ним, в прямоугольнике желтого цвета высвечивается подсказка, а в нижней строке экрана - полное название данной операции или команды. Полную информацию о функциях и возможностях системы можно получить, нажав меню **Справка** в верхней строке экрана.

*Алгоритм* (последовательность действий) построения 3D моделей базовых элементов формы (БЭФ) (сферы, цилиндра, параллелепипеда и пр.), заданных своими параметрами рассмотрим на примере построения модели куба:

1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** (  ), выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Параллелепипед ПРМ, Открыть** (рисунок 1.2).

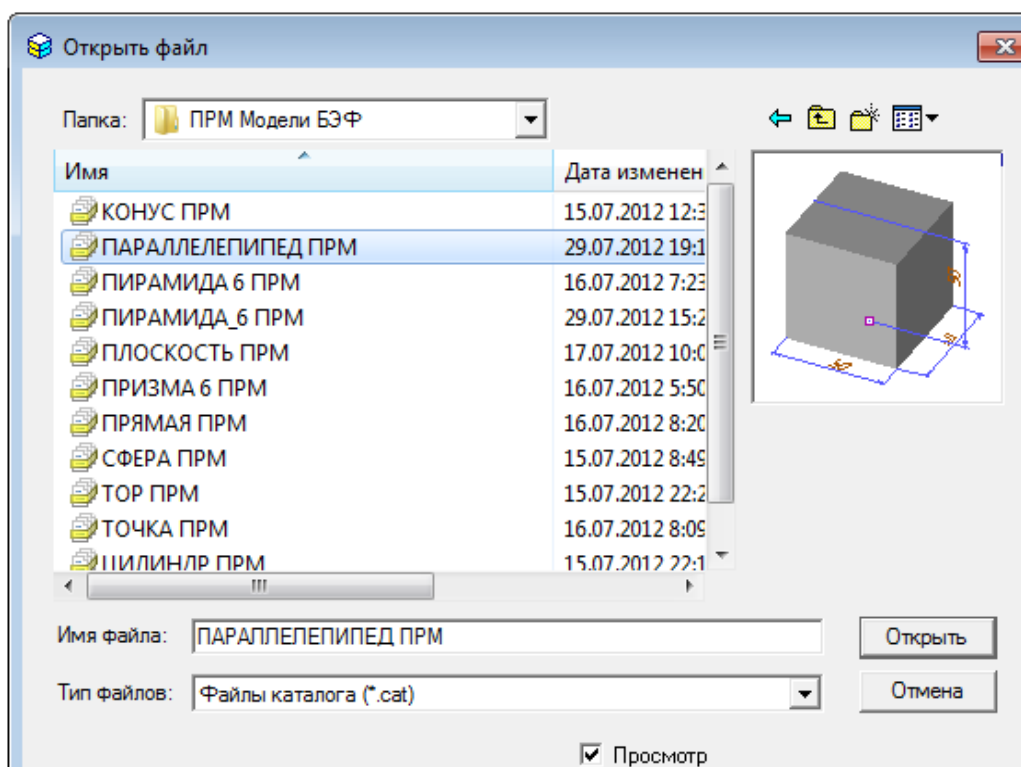


Рисунок.1.2 - Список параметрических моделей БЭФ

2. Поверните модель с помощью кнопок **Shift** (на клавиатуре) + **левой** кнопки мыши так, как показано на рисунке 1.3. Последовательно выбирая размеры длины, высоты и ширины параллелепипеда, отредактируйте их так, как показано на рисунке. 1.4 и нажмите **ОК**.

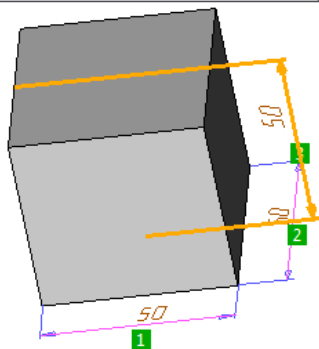
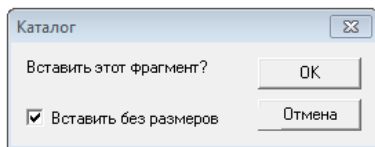


Рисунок 1.3 - Исходная ПРМ куба

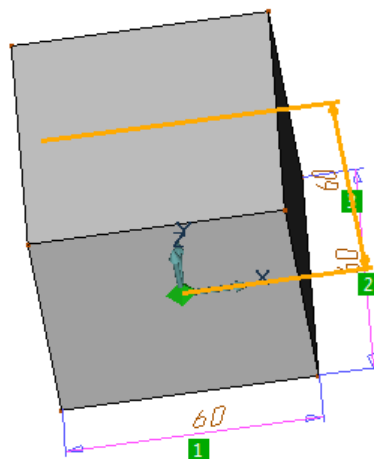




Рисунок 1.4 - Отредактированная ПРМ куба

3. Выведите изометрическое изображение куба (рисунок 1.5) на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home**, **Пробел**, **Пробел**, **Esc**, **Q**, **E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** (  ) меню. В случае отсутствия изображения отредактируйте его так, как показано на рисунке 1.6, нажав **Режимы отображения** во второй строке снизу экрана и **Параметры** в третьей строке снизу или кнопку , **OK**.

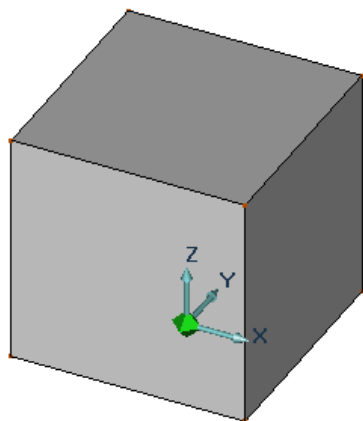


Рисунок 1.5 - Аксонометрия куба

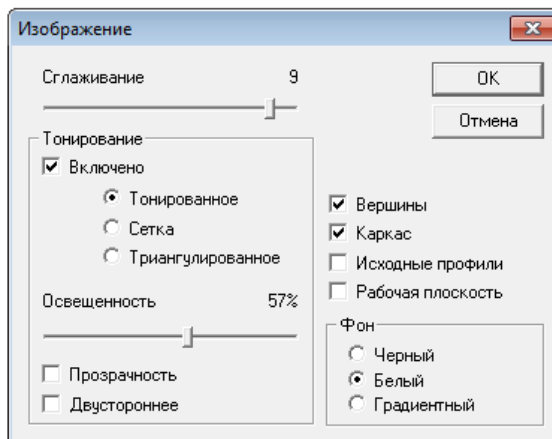


Рисунок 1.6 - Настройка изображения

Теперь получите прозрачное изображение куба и куб в виде каркаса (рисунок 1.7).

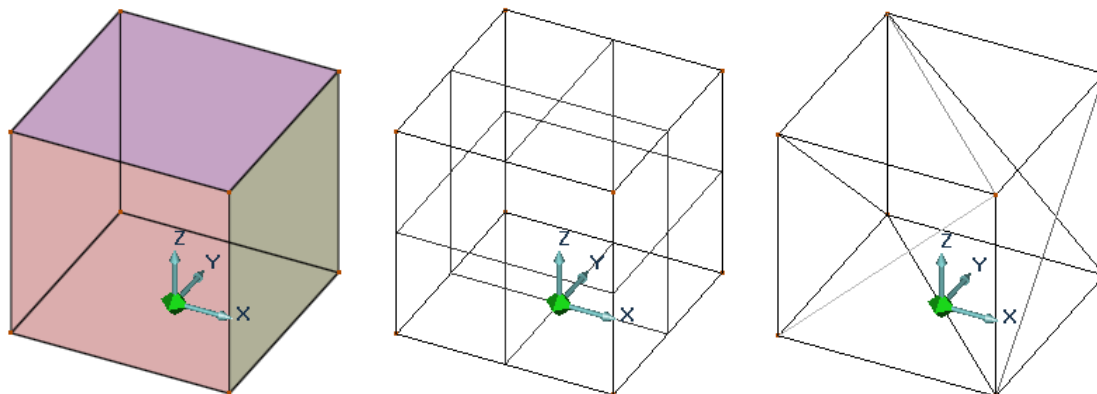




Рисунок 1.7 - Куб в прозрачном и каркасном отображении

Для этого включите **Прозрачность**, измените режимы изображения на **Сетка** или **Триангулированное** (см. рисунок 1.6).

Последовательно измените цвет куба в целом, а затем каждую его грань (  ) и убедитесь, что внутренние поверхности граней остались не закрашенными (  ) (рисунок 1.8).

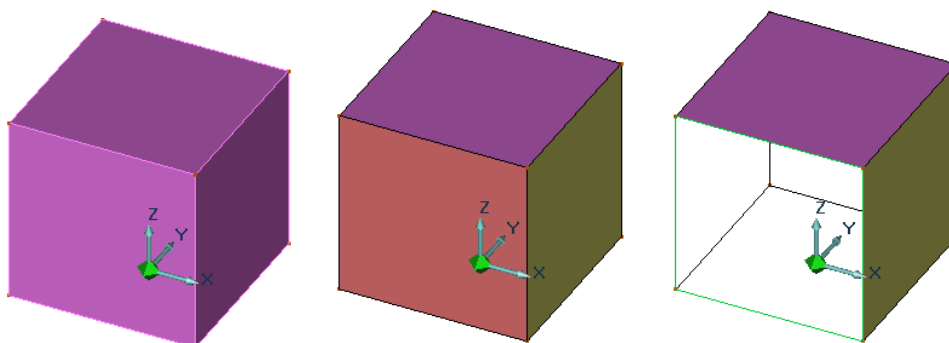




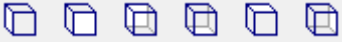




Рисунок 1.8 - Закраска граней куба

При необходимости возврата к предыдущему кадру или полному удалению модели с рабочего поля можно воспользоваться режимом **Отменить** (  ) или **Вернуть** (  ).

Чтобы удалить БЭФ с рабочего поля последовательно нажмите поля меню Выбор элементов (  ), 3D только, по запросу системы Выберите тело укажите курсором удаляемую 3D модель, Esc, Удалить (  ).

#### 1.4 Отображение объемной модели в проекциях

Объемную модель куба просмотрите в 6-и видах, воспользовавшись функциями  (виды сверху, спереди, сзади, слева, справа, снизу), которые расположены под кнопкой .

Чтобы построить чертежные виды куба по его 3D модели, воспользуйтесь функцией **Создание чертежных видов по 3D модели** (  ), например, **Главных видов** (рисунок 1.9)

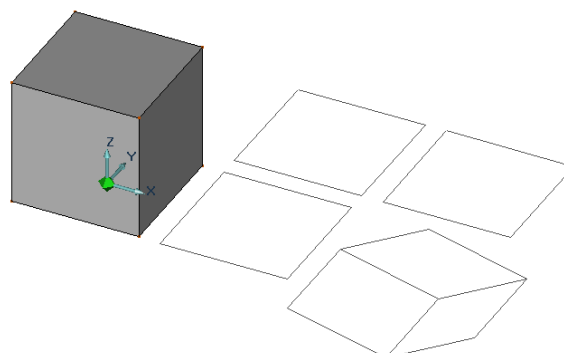
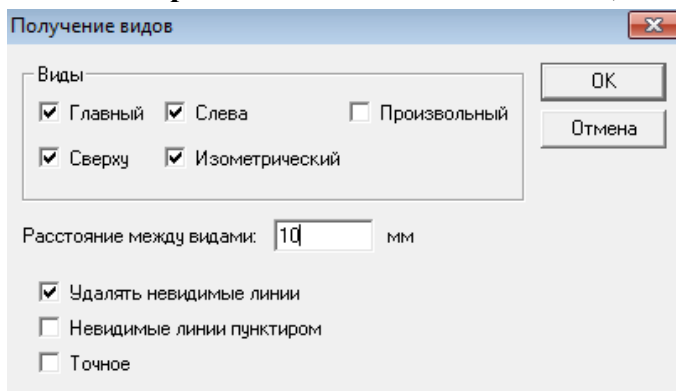




Рисунок 1.9 - Меню "Получение видов" и чертежные виды куба



Удалите модель куба с рабочего поля ( ,  ) и последовательно постройте по 4 вида усеченного конуса и пирамиды так, как показано на рисунке 1.10, воспользовавшись алгоритмом, представленным выше для случая куба.

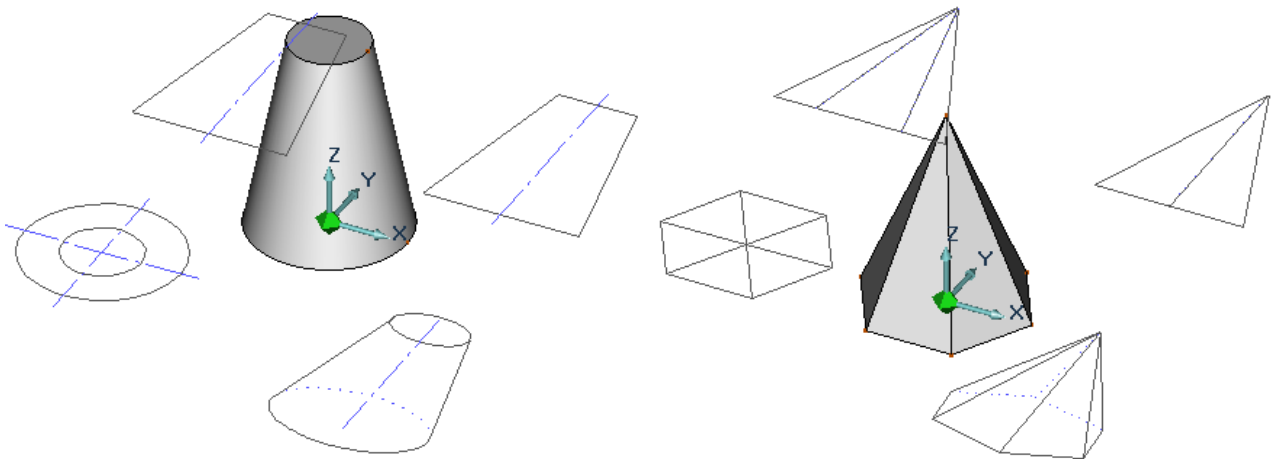



Рисунок -1.10 Плоские виды по 3D моделям

**Задания для упражнений.** Для закрепления навыков работы рекомендуем проделать перечисленные выше действия с остальными, представленными в базе ПРМ БЭФ моделями, которые заданы своими параметрами (цилиндром, сферой, конусом, тором и пр.). Параметрами цилиндра являются высота и диаметр его основания, сферы – величина ее диаметра, конуса – высота и диаметры верхнего и нижнего оснований, тора – диаметры направляющей и образующей окружности.

## Урок 2. Редактирование параметрических моделей библиотеки БЭФ

Функции прямого моделирования рассмотрим, используя параметрическую модель параллелепипеда, хранящуюся в библиотеке.

1.Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** (  ), выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Параллелепипед ПРМ, Открыть** (рисунок 2.1).

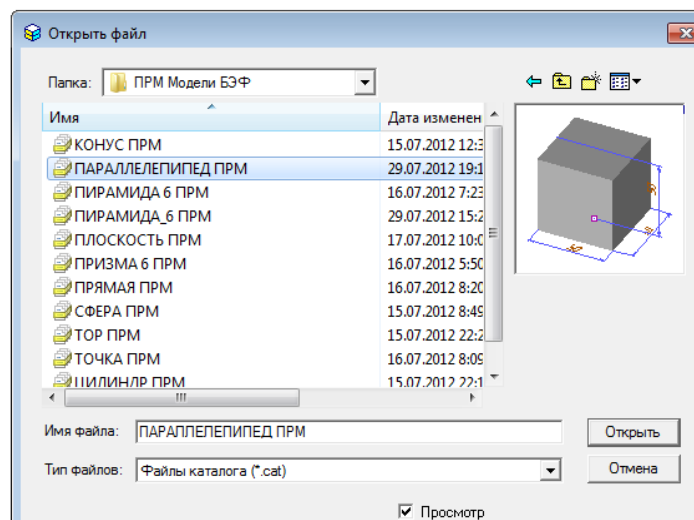


Рисунок 2.1 - Список параметрических моделей БЭФ

2. Как показано на рисунке 2.2, поверните модель с помощью кнопок **Shift** (на клавиатуре) + **левой** кнопки мыши. Последовательно выбирая размеры, помеченные зелёными маркерами, отредактируйте их так, как показано на рисунке 2.3 (длину и ширину по 40 мм, высоту = 80 мм) и нажмите **ОК**.

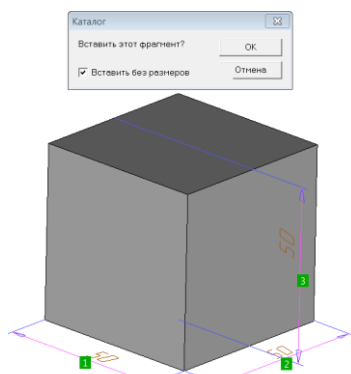


Рисунок 2.2 - Исходная ПРМ параллелепипеда

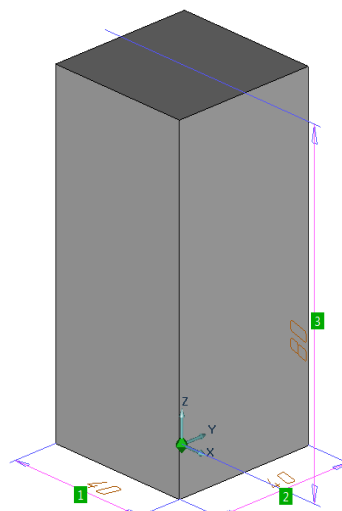



Рисунок 2.3 - Отредактированная ПРМ параллелепипеда

3. Выведите изометрическое изображение параллелепипеда (рисунок 2.4) на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home**, **Пробел**, **Esc**, **Esc**, **Q**, **E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню. В случае отсутствия изображения окна проекта (см. рисунок 2.4 слева) активизируйте его, последовательно нажав поле **Сервис** в верхней строке экрана, установив галочку перед строкой **Окно проекта** и в появившемся окне проекта выбрав закладку **3D**.

В окне проекта в виде иерархической структуры ("дерева") записывается история создания твёрдого тела (последовательность действий пользователя), которую можно будет редактировать.

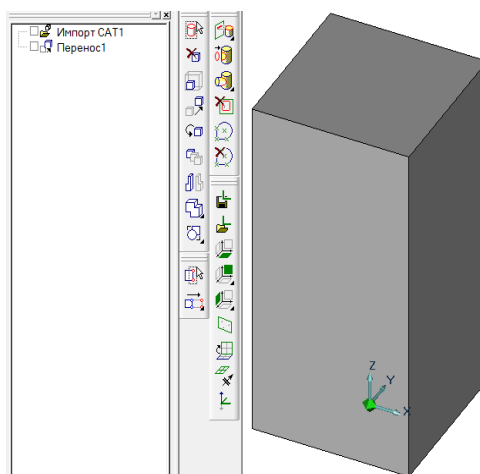





Рисунок 2.4 - Окно проекта и аксонометрия параллелепипеда

Чтобы убедиться в том, что нижняя грань параллелепипеда совпадает с рабочей плоскостью, включите режим визуализации положения рабочей плоскости (**T**).

Последовательно перенесите правое и левое продольные рёбра в противоположных направлениях относительно продольной оси параллелепипеда. Для этого включите режим **Выбор узлов или вершин** , **Только 3D вершины**, выделите обе вершины правого ребра (см. рисунок 2.4), **Esc**, включите **Вид на рабочую плоскость**  (рисунок 2.5 слева), режим **Перенос узлов или вершин** , на запрос системы об исходной точке нажмите **Home**, о новом положении - трижды кнопку **9** на дополнительной части клавиатуры (рисунок 2.5 по середине). Аналогично, но используя кнопку **1**, измените положение левого ребра (рисунок 2.5 справа).

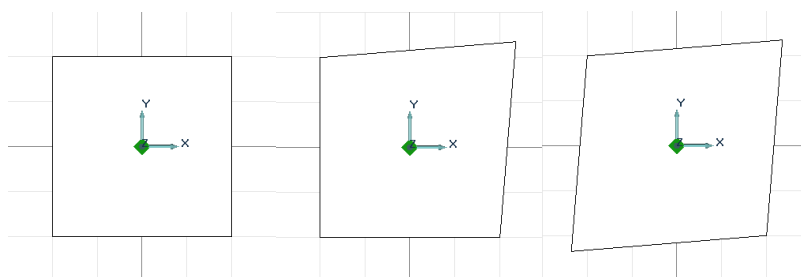









Рисунок 2.5 - Схема переноса рёбер параллелепипеда

Включите **Изометрический вид** , **Выбор узлов или вершин** , **Только 3D вершины**, выделите четыре вершины верхнего основания параллелепипеда, **Esc**. Установите начало координат рабочей плоскости в центре верхнего основания модели параллелепипеда, **Совмещение системы координат** , **Центр грани** (рисунок 2.6 слева). Включите режим **Масштабирование группы узлов или вершин** , расположенный под кнопкой **Перенос узлов или вершин** , на запрос системы о положении центра - **Home**, **Пробел**, о величине масштабирования **0.5**, **Enter** (рисунок 2.6 по середине). Вновь произведите выбор вершин верхнего основания параллелепипеда. Включите режим **Поворот группы узлов или вершин** , расположенный под кнопкой **Перенос узлов или вершин** , на запрос системы о положении центра - **Home**, **Пробел**, о величине угла поворота **90**, **Enter** (рисунок 2.6 справа).

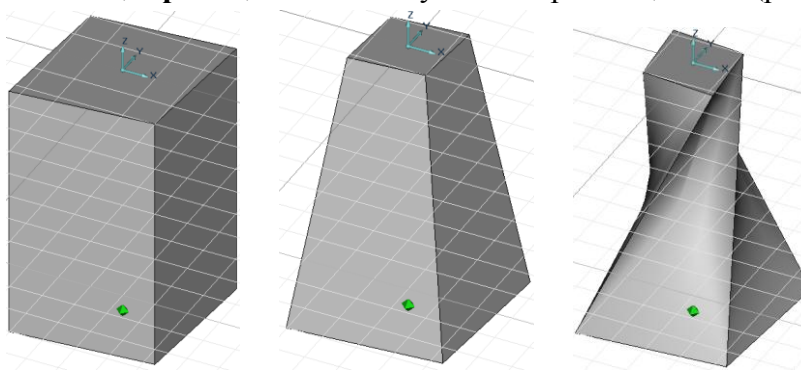



Рисунок 2.6 - Перенос рёбер, масштабирование и вращение вершин

Включите режим **Постоянное скругление**  (создание скругления постоянного радиуса на выбранных рёбрах). Последовательно укажите 4 продольных ребра и 4 ребра верхнего основания модели, **Esc**. Введите радиус скругления равным 3 мм, **Enter** (рисунок 2.7 слева).

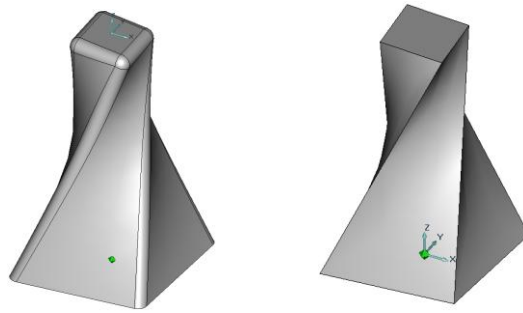












Рисунок 2.7 - Скругление рёбер, удаление рёбер и затяжка

Теперь при необходимости изменить радиус рёбер есть два пути: **Отменить**  или восстановить информацию о геометрии рёбер, которая не сохраняется, другим способом.

Если Вы решили отредактировать радиус скругления сразу вслед за его построением, то целесообразно использовать функцию **Отменить**. Если к моменту принятия такого решения дерево построений стало большим, этот путь приведёт к необходимости восстановления дерева заново и дополнительным временным затратам.

В этом случае используем функцию **Удалить и затянуть**  (удаление выбранных граней и затяжка образовавшегося разрыва оболочки), которая находится под полем меню **Продление поверхности** . На запрос системы **Грани?** последовательно выберите грани (их стало на 4 больше, чем было рёбер до скругления), **Esc** (рисунок 2.7 справа).

Измените положение в пространстве ближней к нам вершины верхней грани модели (см. рисунок 2.7 справа). Для этого включите режим **Выбор узлов или вершин** , **Только 3D вершины**, выделите нужную вершину, **Esc**, включите **Вид на рабочую плоскость**  (рисунок 2.8а), режим **Перенос узлов или вершин** , на запрос системы об исходной точке нажмите **Home**, о новом положении - трижды кнопку **3** на дополнительной части клавиатуры (рисунок 2.8б). Чтобы поднять вершину включите **Рабочую плоскость XZ** , ещё раз режим **Выбор узлов или вершин** , **Только 3D вершины**, выделите вершину, **Esc**, включите **Вид на рабочую плоскость**  (рисунок 2.8в), режим **Перенос узлов или вершин** , на запрос системы об исходной точке нажмите **Home**, о новом положении - трижды кнопку **8** на дополнительной части клавиатуры (рисунок 2.8г).

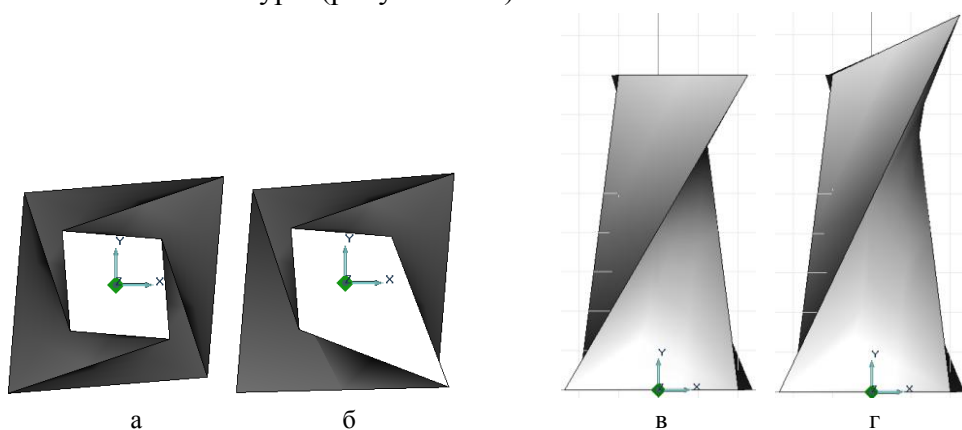




Рисунок 2.8 - Перенос вершины в пространстве: а и б - в плоскости параллельной XY; в и г - в плоскости параллельной XZ

Скруглите вершины сформировавшейся (верхней) поверхности радиусом, равным 30 мм, а прилегающие к ней рёбра радиусом 3 мм. Для этого включите режим **Скругление вершины** , расположенный под кнопкой **Переменное скругление** , укажите вершины, **Esc** и введите соответствующие значения радиусов, **Enter** (рисунок 2.9 слева).

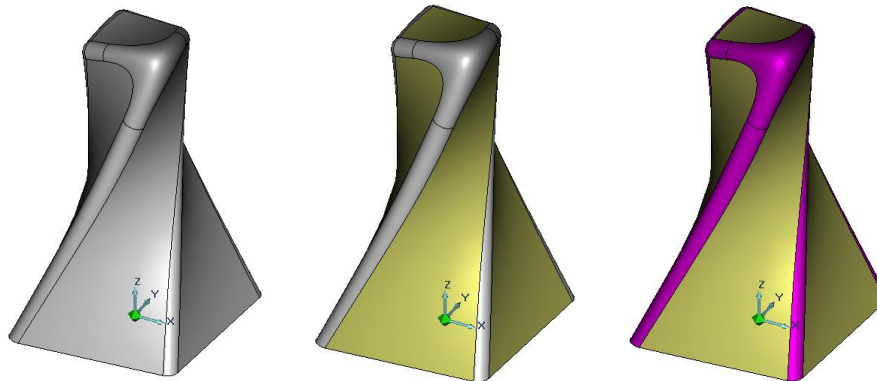



Рисунок 2.9 - Скругление вершин и прилегающих к ним рёбер, изменение цвета граней

Последовательно измените цвет верхней и боковых поверхностей модели на жёлтый (рисунок 2.9 по середине), а затем остальных граней модели на фиолетовый (рисунок 2.9 справа).

На рисунке 2.10 слева приведено "дерево" выполненного проекта. Вернитесь к его началу. Для этого закройте пункты, как показано на рисунке 2.10 справа, и выполните операцию **Регенерация 3D** .

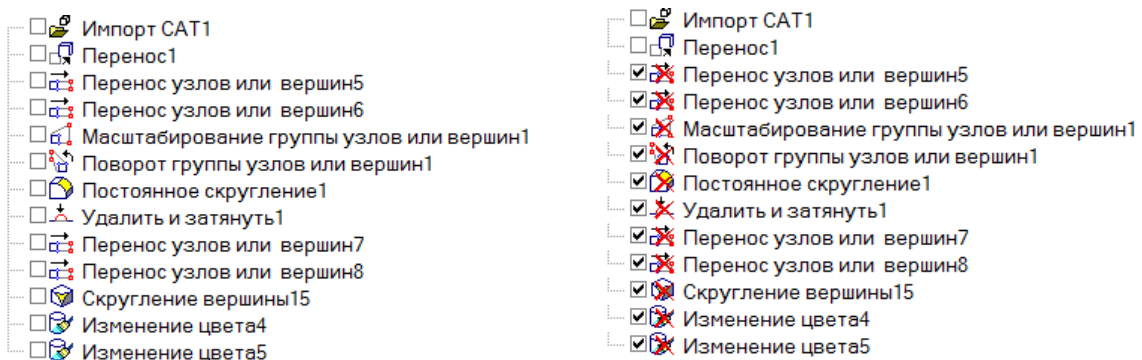



Рисунок 2.10 - Дерево проекта и его редактирование

Последовательно открывая пункты и каждый раз регенерируя проект, воспроизведите проделанную работу. Попробуйте редактировать геометрические параметры, например, радиусы скругления рёбер и вершин.

### **Урок 3. Аффинные преобразования одного и группы БЭФ**

#### **3.1 Работа с окнами**

Перед тем, как приступить к работе с аффинными преобразованиями, целесообразно освоить работу с "окнами". Под работой с окнами подразумеваются операции приближения (увеличения размеров) и отдаления (уменьшения размеров) изображений БЭФ скроллингом, перемещения изображения на рабочем поле (**Ctrl** + левая кнопка мыши), поворота (**Shift** + левая кнопка мыши) для удобства их просмотра. Эти операции могут быть выполнены также

при нажатии клавиш **Q, W, E, R**, (**Ctrl**+клавиши клавиатуры со стрелками) или с использованием кнопок меню, расположенных под кнопкой **Показать все** 



Прочтите () из папки **ПРМ Модели БЭФ** файл **КОНУС ПРМ**, **Открыть, ОК**, на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc, Q, E** клавиатуры и **Изометрический вид** () меню. Приблизьте его, увеличив в 2 раза (**W**) (рисунок 3.1).

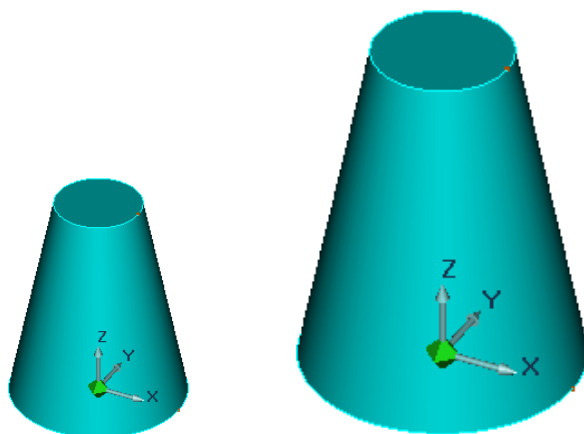




Рисунок 3.1 - Усеченный конус в изометрии и его увеличенное изображение

Увеличьте его еще в 2 раза (**W**). Возвратитесь к исходному изображению усеченного конуса (**R**). Выведите изображение в центр экрана (**Home, Q, E**) Теперь отдалите изображение, уменьшив его в 2 раза (**E**). Стяните его в точку, (многократно нажимая **E**). Вернитесь к исходному изображению конуса (**R**). Просмотрите область, прилегающую к верхнему основанию конуса, воспользовавшись **Q**.


### 3.2 Преобразования БЭФ

К аффинным (конформным) преобразованиям геометрических объектов относятся операции переноса, поворота, масштабирования, копирования, зеркального отображения.

Начните выполнять аффинные преобразования с масштабирования модели усеченного конуса. Для этого последовательно нажмите поля меню **Выбор элементов** () **3D только**, по запросу системы **Выберите тело** укажите курсором 3D модель конуса, **Esc, Масштаб**

() , по запросу системы **Центр** нажмите **Home, Пробел**, введите параметры:

Масштаб =  Асп. X =  Асп. Y =  Асп. Z =  , **ОК**. Вернитесь к

исходному изображению () и повторите масштабирование еще раз, введя теперь в поле **Масштаб=2.000000**. Результат Ваших действий показан на рисунке 3.2.

Так как операции переноса, поворота, копирования и зеркального отображения 3D геометрической модели необходимо выполнять в пространстве относительно 3-х осей, а рабочее поле плоское (то есть содержит 2 оси), то для выполнения пространственных преобразований на плоском рабочем поле, как правило, необходимо использовать т.н.

**Рабочую плоскость.** *Рабочая плоскость* является одним из основных инструментов, позволяющих эффективно создавать 3D модели самых сложных деталей.

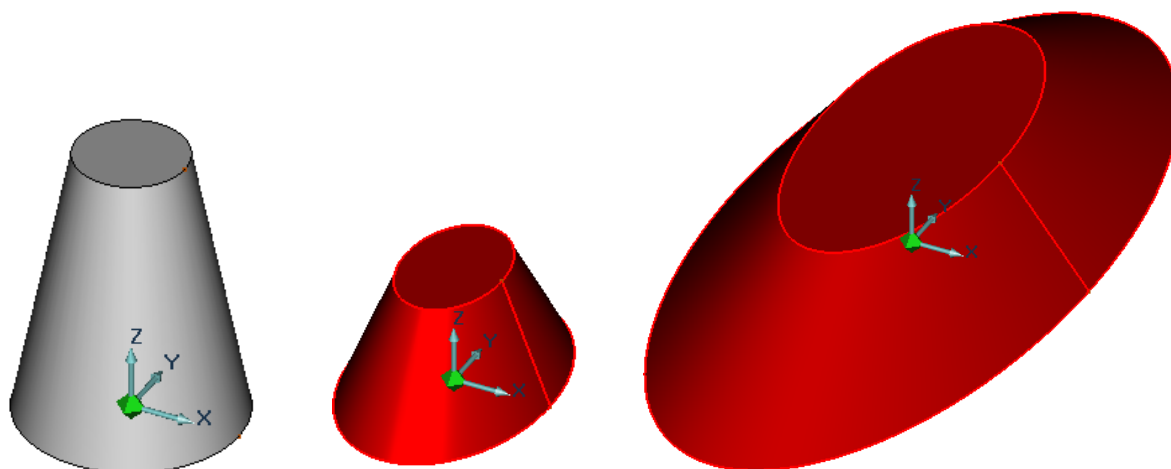







Рисунок 3.2 - Исходная 3D модель и результаты масштабирования

Визуализировать **Рабочую плоскость** можно с помощью трафаретной сетки, нажав кнопку **T** клавиатуры. Для реализации конформных преобразований с 3D моделями необходимо совместить **Рабочую плоскость** с плоскостью экрана монитора (рабочего поля) командой **Вид на рабочую плоскость** ()

Как показано на рисунке 3.3 последовательно совместите **Рабочую плоскость** (рисунок 3.3б) с плоскостью экрана () (рисунок 3.3а), перенесите () 3D модель конуса на 40 мм влево, поверните модель () вокруг начала координат на 90 градусов против часовой стрелки (рисунок 3.3в), сделайте 3 угловых копии () вокруг начала координат (рисунок 3.3г), предварительно выбрав 3D модель, аналогично тому, как указано выше в примере масштабирования.

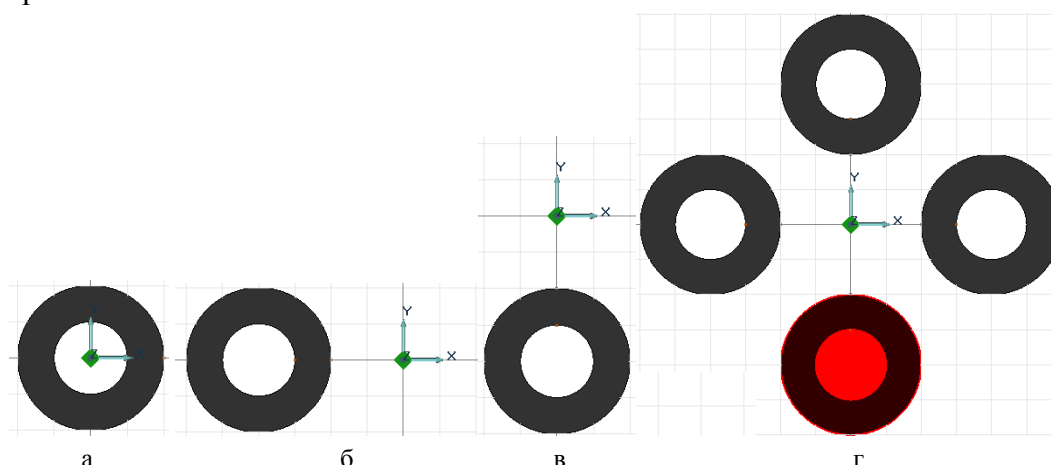





Рисунок 3.3 - Аффинные преобразования на плоскости: а - исходное положение 3D модели, б - перенос влево, в- поворот на +90, г - угловое копирование

Используя **Изометрический вид** () () или () последовательно просмотрите результаты произведенных Вами выше действий в аксонометрии (рисунок 3.4).

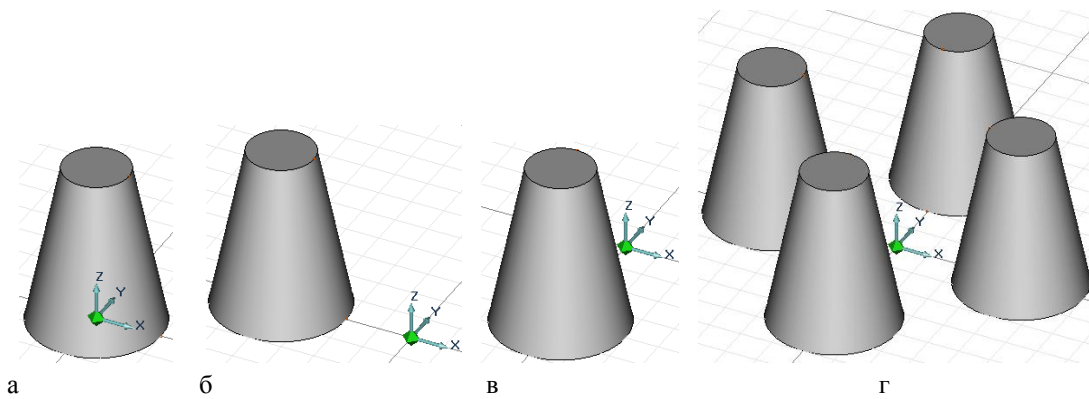


Рисунок 3.4 - Аффинные преобразования в аксонометрии: а - исходное положение 3D модели, б - перенос влево, в - поворот на +90, г - угловое копирование

Теперь постройте композицию из 3D моделей, представленную на рисунке 3.5

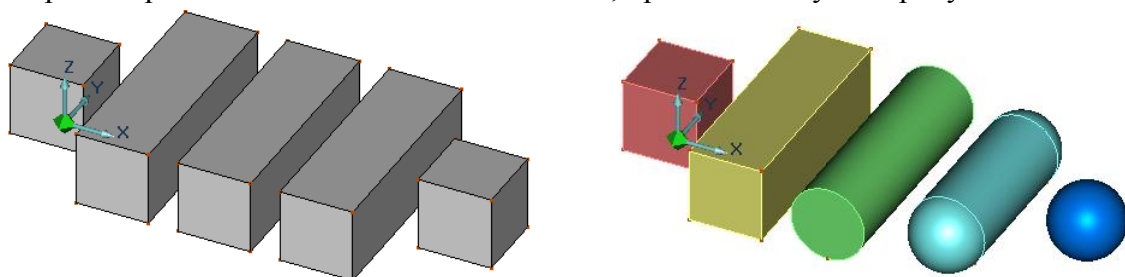



Рисунок 3.5 - Линейное копирование и масштабирование 3D модели куба, скругление ребер и раскраска моделей

Для этого откройте файл **ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕД ПРМ**, измените параметры длины, высоты и ширины, сделав их равными 10 мм, представьте модель куба на рабочем поле. Выделив 3D модель куба сделайте 4 линейных копии (  ) в направлении оси X (  $DX = 15.000000$   $DY = 0.000000$   $DZ = 0.000000$  Число =  $4.000000$  ), **ОК**. Произведите трехкратное масштабирование второй, третьей, четвертой моделей по оси Y, взяв в качестве центра начало координат XYZ ( Масштаб =  $1.000000$  Асп. X =  $1.000000$  Асп. Y =  $3.000000$  Асп. Z =  $1.000000$  ), **ОК**. Произведите неконформные преобразования - скругление продольных ребер у третьей, четвертой и пятой слева моделей радиусом, равным 5 мм. Произведите скругление тем же радиусом ребер на обоих торцах четвертой и пятой модели.

Постройте композицию 3D моделей полых сфер, представленную на рисунке 3.6.

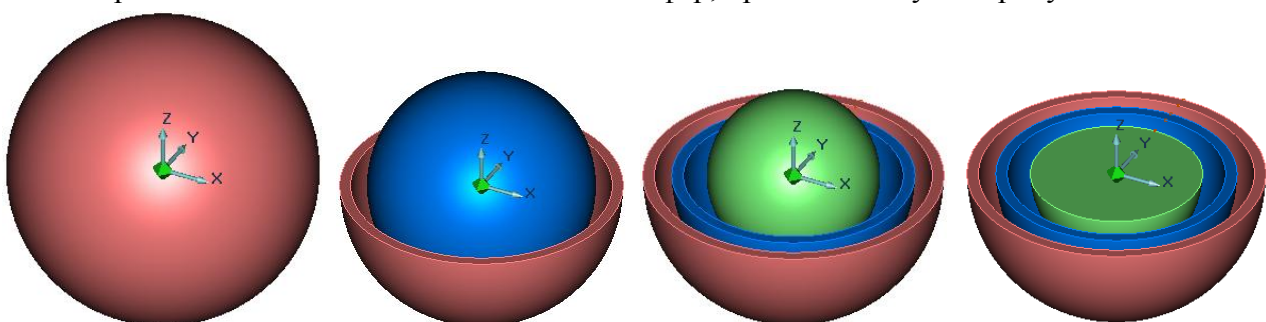






Рисунок 3.6 - Композиция 3D моделей полых сфер

Для этого откройте файл **СФЕРА ПРМ**, **ОК** и выведите изометрическое изображение сферы на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home**, **Пробел**, **Пробел**, **Esc**, **Q**, **E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** (  ) меню.



Включите **Режим отображения** (вторая строка снизу), **Прозрачность** (третья строка снизу), измените цвет сферы (  ) на красный, **Оболочка** (  ), на запрос системы укажите модель сферы, **Esc**, введите значение толщины оболочки 2 мм (Высота =  Глубина =  Радиус =  ), **ОК**, **Т**, **Триммирование рабочей плоскостью** (  ), на запрос системы укажите верхнюю часть модели сферы. Повторно откройте файл **СФЕРА ПРМ**, измените диаметр сферы (**40 мм**), **ОК** и выполните последовательность действий с синей сферой как до этого с красной. Установите зеленую сферу диаметром **30 мм** внутри синей сферы, действуя аналогично.

Постройте композицию 3D моделей из пяти конусов (рисунок 3.7).

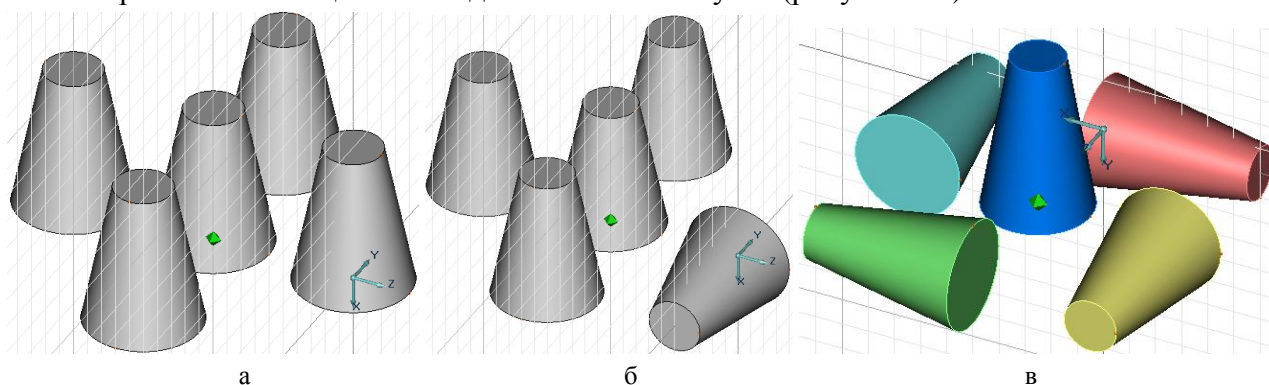




Рисунок 3.7 - Композиция 3D моделей пяти конусов

Для этого сначала поставьте на рабочую плоскость 5 моделей (любым из выше перечисленных способов), затем функцией **Совмещение системы координат** (  , **Центр грани**) перенесите начало координат в центр нижнего основания правого конуса, функцией **Разворот рабочей плоскости** (  ) поверните рабочую плоскость вокруг оси Y на + 90 градусов так, чтобы она совпала с осью конуса (см. рисунок 3.7 а) и затем поверните модель этого конуса на + 90 градусов (в плоскости XY) (см. рисунок 3.7 б). Действуя аналогично, поверните в соответствующих рабочих плоскостях каждую из оставшихся трех периферийных моделей конуса так, как показано на рисунке 3.7 в.

**Задания для упражнений.** Для закрепления навыков работы рекомендуем построить модели идеальных кристаллических решеток твердых тел: простую кубическую, объемно-центрированный куб и гранецентрированный куб, которые приведены на рисунке 3.8

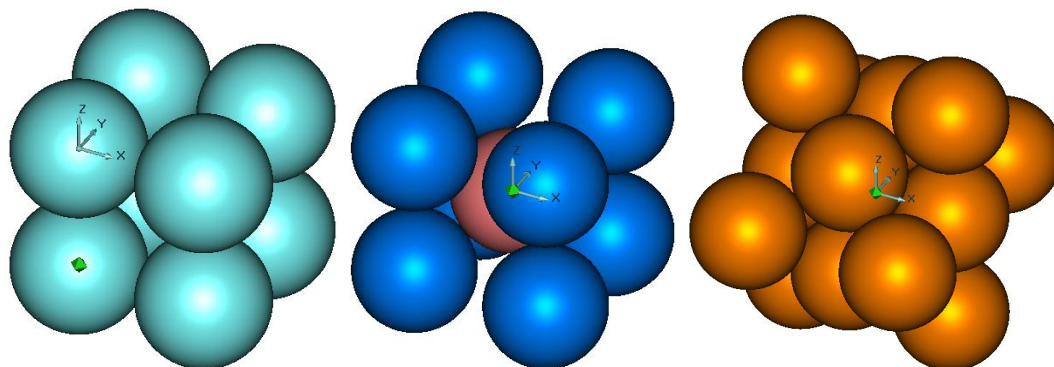


Рисунок 3.8 Модели кристаллических решеток твердых тел

## Урок 4. Тела вращения, конические сечения, развертки

### 4.1 Построение фигур сечений и тел вращения на их основе

На рисунке 4.1 слева направо представлены в аксонометрии: объемная модель конуса; результат сечения модели конуса плоскостью, перпендикулярной основанию и проходящей через его вершину; результат сечения модели конуса плоскостью, перпендикулярной основанию, но параллельной его оси; результат сечения модели конуса плоскостью, параллельной его образующей; результат сечения модели конуса плоскостью, проходящей под произвольным углом к его оси; результат сечения модели конуса плоскостью, перпендикулярной его оси.

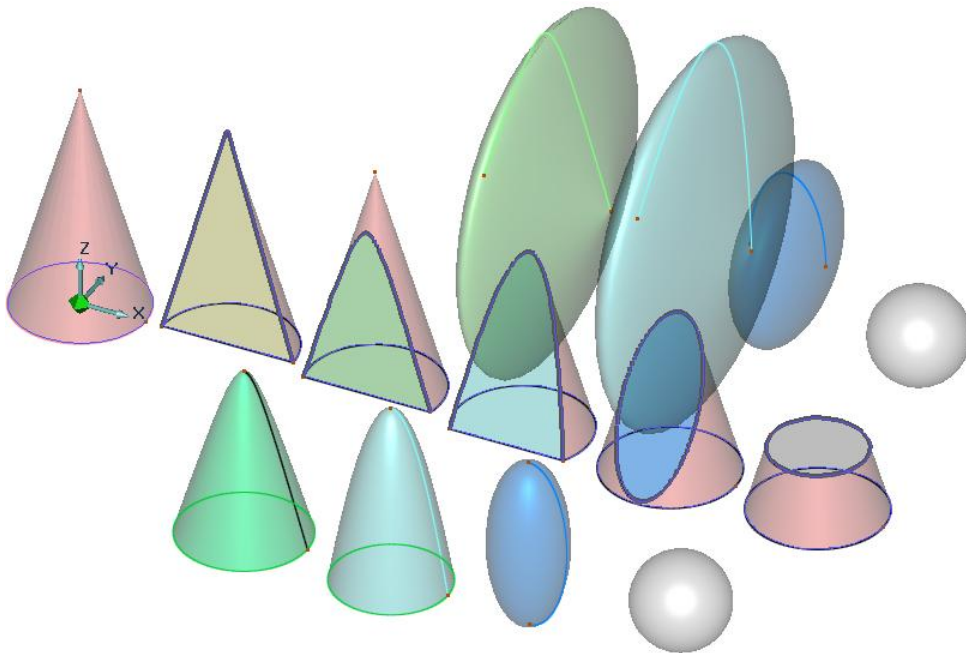



Рисунок 4.1 Конические сечения и тела вращения


В результате сечения конуса плоскостью получены плоские фигуры, по разному расположенной к его оси, которые носят общее название **конические сечения** (две пересекающиеся прямые, парабола, гипербола, эллипс и окружность). Используя конические сечения в качестве образующих (вращая их вокруг вертикальной оси) мы можем получить тела вращения, представленные на переднем плане (см. рисунок 4.1): конус, параболоид, гиперболоид, эллипсоид и сферу, а также, вращая конические сечения вокруг горизонтальной оси - тела вращения, представленные на заднем плане (см. рисунок 4.1).



В качестве примера постройте фигуру сечения объемной модели конуса плоскостью, проходящей под произвольным углом к оси конуса и, на ее основе - последовательно две модели эллипсоидов.

Для этого, как прежде, воспользуемся базой параметрических моделей БЭФ.

1.Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** (  ), выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Конус ПРМ, Открыть**.

2.Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ усеченного конуса: диаметр нижнего основания оставьте прежним (40 мм), высоту конуса задайте равной

70 мм, диаметр верхнего основания сделайте равным 0.1 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение конуса на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home**, **Пробел**, **Пробел**, **Esc**, **Q**, **E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** (  ) меню (рисунок 4.2 слева).

3. Постройте фигуру сечения конуса плоскостью: сместите рабочую плоскость на 35 мм вверх по оси Z (**Z=35, ОК**), поверните ее вокруг начала координат на угол 60 градусов относительно оси Y (  , **Вокруг Y**, **Угол = 60.000000**, **ОК**), отрежьте верхнюю часть конуса рабочей плоскостью (  , укажите удаляемую часть конуса, **Esc**) (рисунок 4.2 справа).

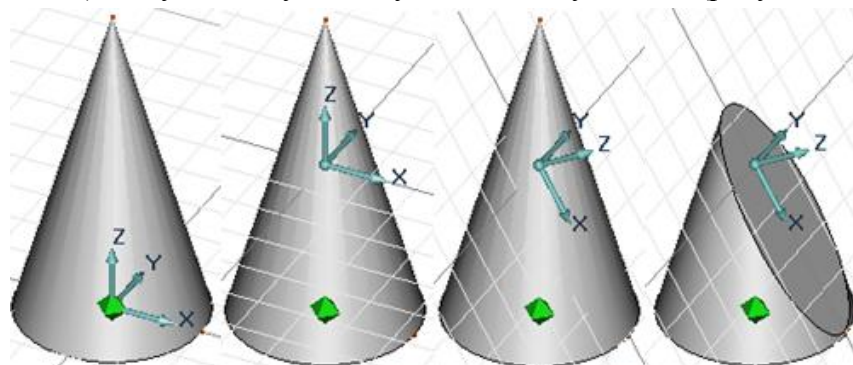






Рисунок 4.2 - Сечение конуса рабочей плоскостью

4. Постройте модель эллипсоида: как показано на рисунке 4.3 вверху последовательно постройте проекцию эллипса сечения на рабочую плоскость (  , **Esc**, разделите её точками, лежащими на его продольной оси, указав верхнюю точку проекции эллипса (**Триммирование**  , **Разделение**, **C**, **Пробел**, **Esc**); постройте эллипсоид (**Вращение**  , укажите левую часть проекции сечения эллипса, **Esc**, **Угол = 360**, **ОК**) и по запросу системы последовательно нижний и верхний концы большой оси эллипса (**C**, **Пробел**, **Esc**). Поверните рабочую плоскость вокруг оси X на 90 градусов и перенесите построенный эллипс вправо (  , указав исходную и конечную точки). Сохраните полученную модель эллипсоида в своем архиве.

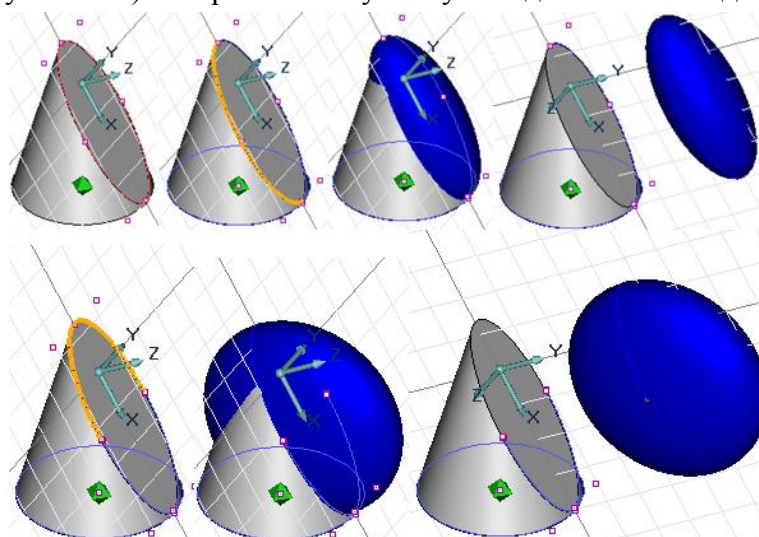



Рисунок 4.3 - Моделирование эллипсоидов

Откатитесь на несколько шагов назад () и аналогично изложенному в п.4, так, как показано на рисунке 4.3 внизу последовательно постройте ещё один эллипсоид, осью которого является малая ось проекции эллипса. Сохраните и эту полученную Вами модель эллипсоида в своем архиве.

## 4.2 Построение разверток тел вращения

Теперь постройте развертку боковой поверхности нижней отсеченной рабочей плоскостью части конуса и натуральную величину сечения в виде эллипса. Для этого:

1.Вернитесь на несколько шагов (рисунок 4.4 слева).

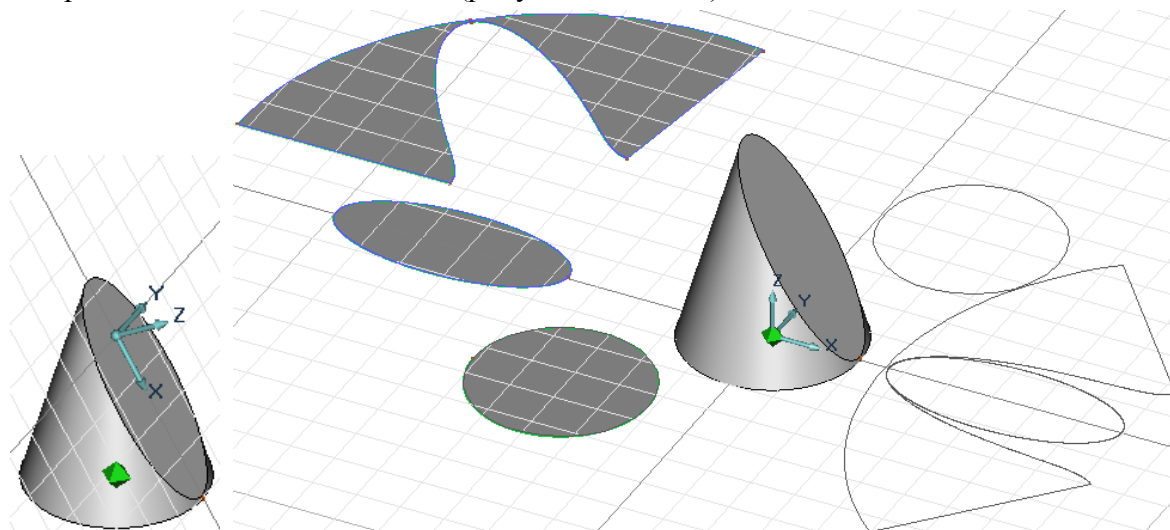










Рисунок 4.4 - Построение развертки боковой поверхности и натуральной величины сечения

2.Выберите абсолютную рабочую плоскость XY ()


3.Нажмите кнопку **Развертка поверхности** () (под кнопкой **Продление поверхности** ) и по запросу системы выберите фигуру эллиптического сечения, расположите ее левее 3D модели усеченного конуса (см. рисунок 4.4), так же поступите с основанием конуса и боковой поверхностью нижней отсеченной части конуса.

4.Кнопкой  выберите режим **Проекция грани** и по запросу системы последовательно укажите полученные в п.3 фигуры сечения, основания и развертки боковой поверхности, получив тем самым временные проекции граней на рабочую плоскость.

5.Перенесите () временную проекцию грани эллиптического сечения правее 3D модели в аксонометрии (см. рисунок 4.4).

6.Соберите временную проекцию боковой поверхности конуса в общий контур функцией **Сборка элемента** () (под кнопкой **Дополнительные функции** ), последовательно указывая ее отдельные элементы, ответив утвердительно на запрос системы об удалении исходных контуров. Перенесите () собранную в общий контур временную проекцию боковой поверхности конуса правее 3D модели в аксонометрии. Поверните () развертку боковой поверхности конуса так, как показано на рисунке (см. рисунок 4.4).

7. Перенесите (  ) временную проекцию основания (см. рисунок 4.4).

На рисунке 4.5 представлен вид сверху (  ) на 3D модель усеченного конуса, развертка боковой поверхности конуса, основание и фигура сечения конуса плоскостью в натуральную величину. Если распечатать на бумаге полученную развертку и свернуть её, можно получить модель усеченного конуса.

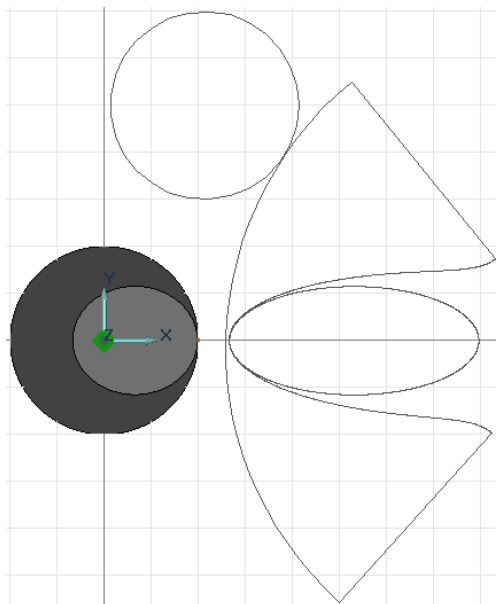


Рисунок 4.5 - Усеченный конус и его развертка (вид на рабочую плоскость)

### 4.3 Решение метрических задач

На рисунке 4.6 представлены характеристики фигур построенной выше развертки.

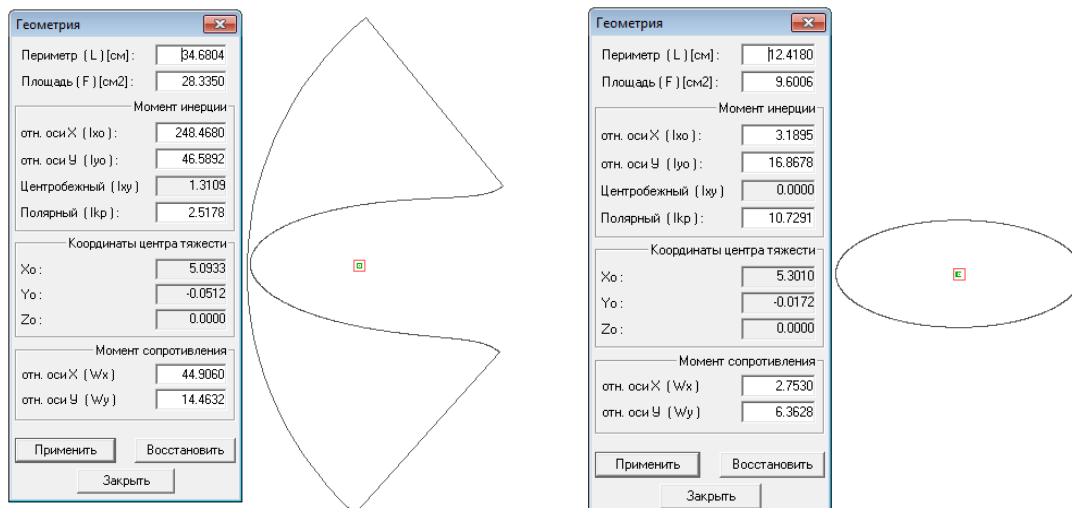


Рисунок 4.6 - Характеристики развертки боковой поверхности и натуральной величины сечения

Для их определения последовательно нажмите **Характеристики 2D** (под кнопкой **Расчет** в верхней строке экранного меню) и каждую из фигур развертки.

Самостоятельно определить расстояние от точки, лежащей в плоскости основания пятиугольной пирамиды до плоскости противоположной грани воспользовавшись базой ПРМ БЭФ так, как показано на рисунке 4.7.

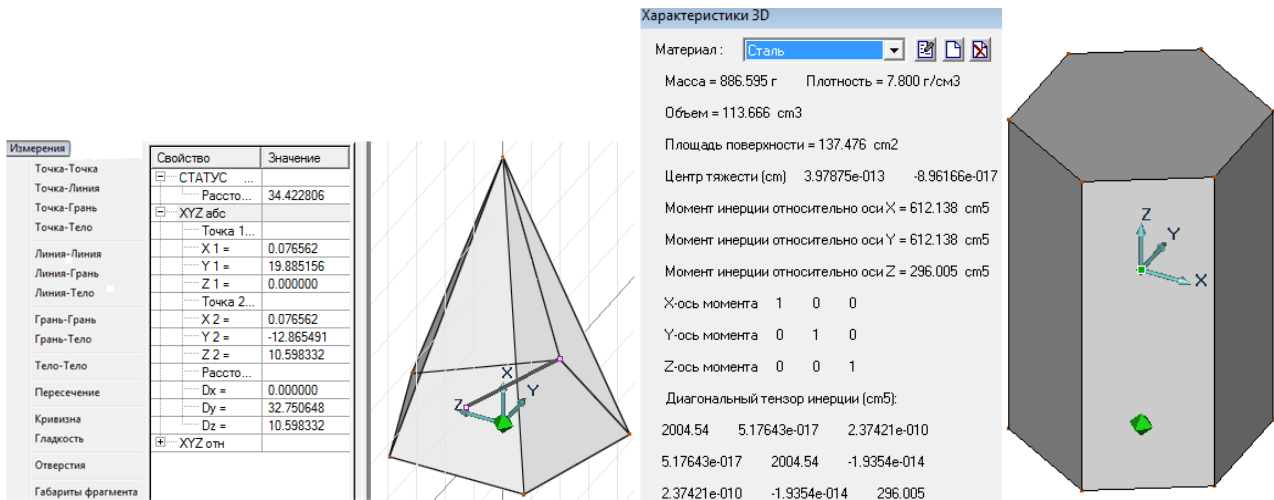


Рисунок 4.7 Натуральная величина перпендикуляра и 3D характеристик модели призмы

## Урок 5. Логические (булевы) операции. Позиционные и метрические задачи

### 5.1 Выполнение булевых операций

К логическим (или булевым) операциям с геометрическими моделями относятся, в частности, операции объединения, пересечения, вычитания моделей. Выполнение этих операций позволяет развить, в частности, интуитивную составляющую пространственного мышления.

Рассмотрим **алгоритм** выполнения любой из булевых операций на примере операции объединения 3D моделей конуса и цилиндра (рисунок 5.1):

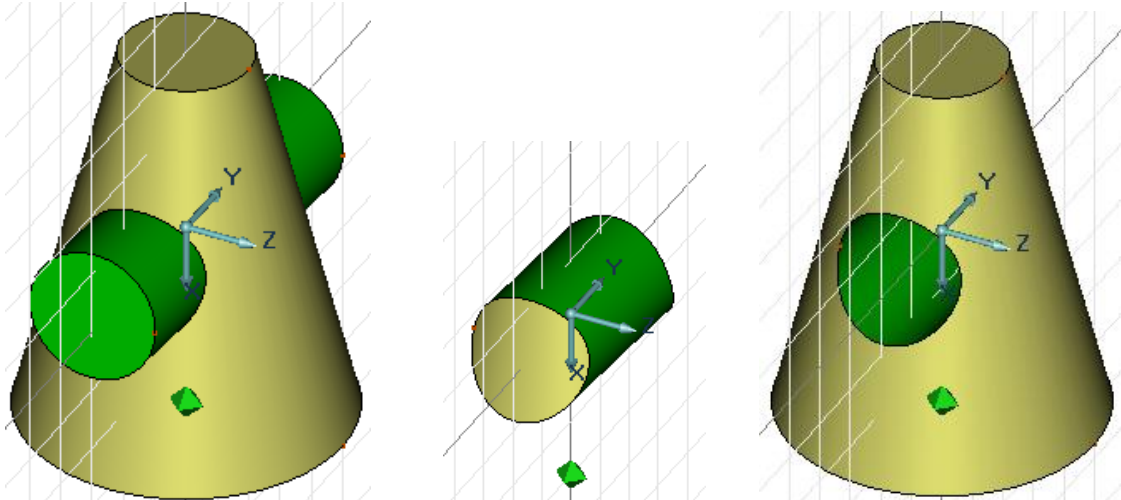





Рисунок 5.1 - Логические операции с конусом и цилиндром (слева направо): объединение, пересечение, вычитание


1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** (  ), выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Конус ПРМ, Открыть**.

2. Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ усеченного конуса: диаметр нижнего основания 50 мм, высоту конуса задайте равной 60 мм, диаметр верхнего основания оставьте равным 20 мм. **ОК**. Выведите изометрическое изображение


конуса на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc, Q, E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.


3.Закрасьте () 3D модель конуса в желтый цвет.


4.Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** () , выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Цилиндр ПРМ, Открыть**.



5.Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ цилиндра: диаметр основания 20 мм, высота цилиндра 60 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение цилиндра на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc, Q, E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.

6.Перенесите начало координат на 30 мм вверх по оси Z (**Z=30, ОК**).


7.Поверните рабочую плоскость на 90 градусов вокруг оси Y (,  Вокруг Y, Угол = , **ОК**).

8.Модель конуса сделайте невидимой (**Сделать невидимыми** ,  3D только, выберите модель конуса, **Esc**).


9.Закрасьте () 3D модель цилиндра в зеленый цвет.

10.Разверните рабочую плоскость, совместив ее с плоскостью экрана () и поверните () 3D модель цилиндра на 85 градусов.

11.Сделайте все 3D модели видимыми () .

12.Произведите булеву операцию объединения () 3D моделей конуса и цилиндра (см. рисунок 5.1 слева)

13.Запишите полученный результат в свой архив.


14.Последовательно выполните булевы операции пересечения и (рисунок 5.1 посередине) и вычитания 3D (рисунок 5.1 справа) моделей конуса и цилиндра, предварительно откатившись () назад.


## 5.2 Решение типовых задач начертательной геометрии. Построение разверток гранных тел.


Возможности ADEM CAD позволяют эффективно решать задачи, обычно рассматриваемые в курсе начертательной геометрии по взаимному расположению и пересечению объектов, определять не только характер линий пересечения, но их точные, необходимые для исследования и изготовления геометрические характеристики, а также строить точные развертки поверхностей различных тел.


Рассмотрим решение типовых комплексных задач курса начертательной геометрии, воспользовавшись представленным выше алгоритмом.

Определите линию пересечения и постройте развертку 6-гранных призмы и пирамиды при пересекающихся осях.


1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** (  ), выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Призма 6 ПРМ, Открыть**.



2. Отредактируйте высоту призмы, задав ее высоту равной 70 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение призмы на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc, Q, E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** (  ) меню.



3. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** (  ), выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Пирамида\_6 ПРМ, Открыть**.


4. Отредактируйте высоту пирамиды, задав ее высоту равной 90 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение призмы на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc, Q, E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** (  ) меню.

5. Перенесите начало координат на 35 мм вверх по оси Z (**Zabc =35, ОК**).

6. Поверните рабочую плоскость на минус 90 градусов вокруг оси Y (  ,  **Вокруг Y** , **Угол = -90.000000** , **ОК**).

7. Разверните рабочую плоскость, совместив ее с плоскостью экрана (  ), и поверните (  ) модель пирамиды вокруг начала координат (**Home**) на минус 90 градусов.

8. Определите линии взаимного пересечения (  ) моделей призмы и пирамиды (рисунок 5.2 слева) и, включив режим **Прозрачность**, изучите их геометрию, вращая модели в плоскости экрана с помощью кнопок **Shift** (на клавиатуре) + **левой** кнопки мыши (рисунок 5.2 посередине). Откатитесь (  ) назад на один шаг.

9. Произведите булеву операцию вычитания (  ) 3D модели пирамиды из 3D модели призмы (рисунок 5.2 справа).

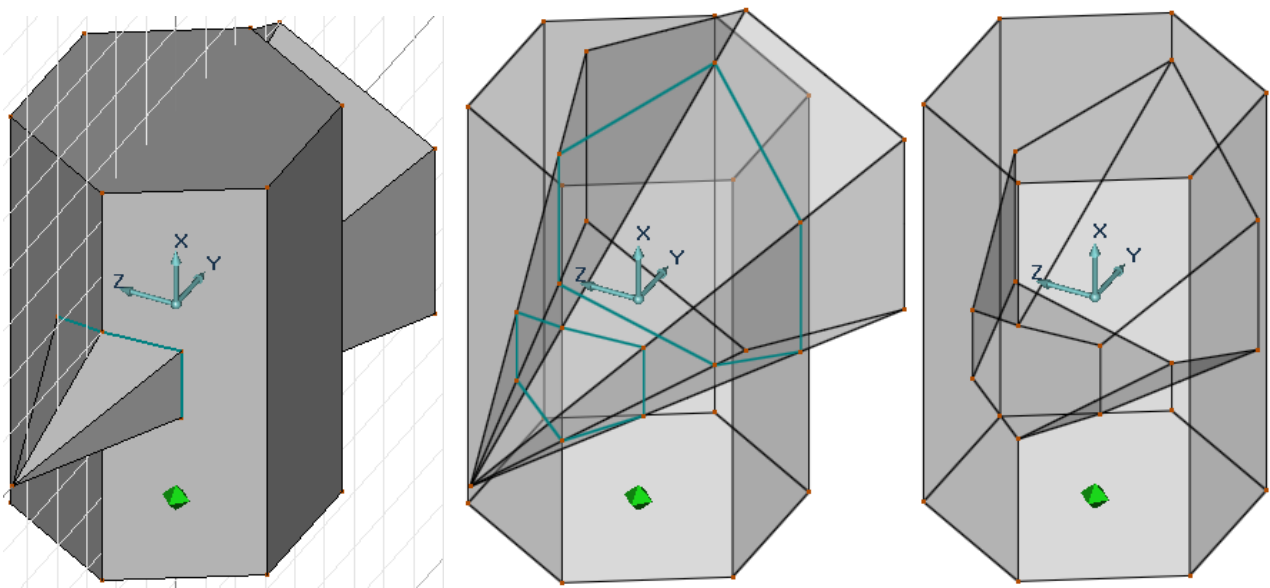




Рисунок 5.2 - Определение линий пересечений гранных тел при пересекающихся осях



10. Постройте развертку боковых поверхностей призмы (**Развертка многогранника**  под кнопкой **Продление поверхности** ): по запросу системы последовательно выберите правую боковую грань призмы, 5 ребер, граничащих с нижним основанием, 5 ребер, граничащих с верхним основанием (кроме ребер на границах правой грани с нижним и верхним основанием), ребра, принадлежащие линиям пересечения призмы с пирамидой (всего 12) и крайнее левое ребро призмы (рисунок 5.3 слева), **Esc**.

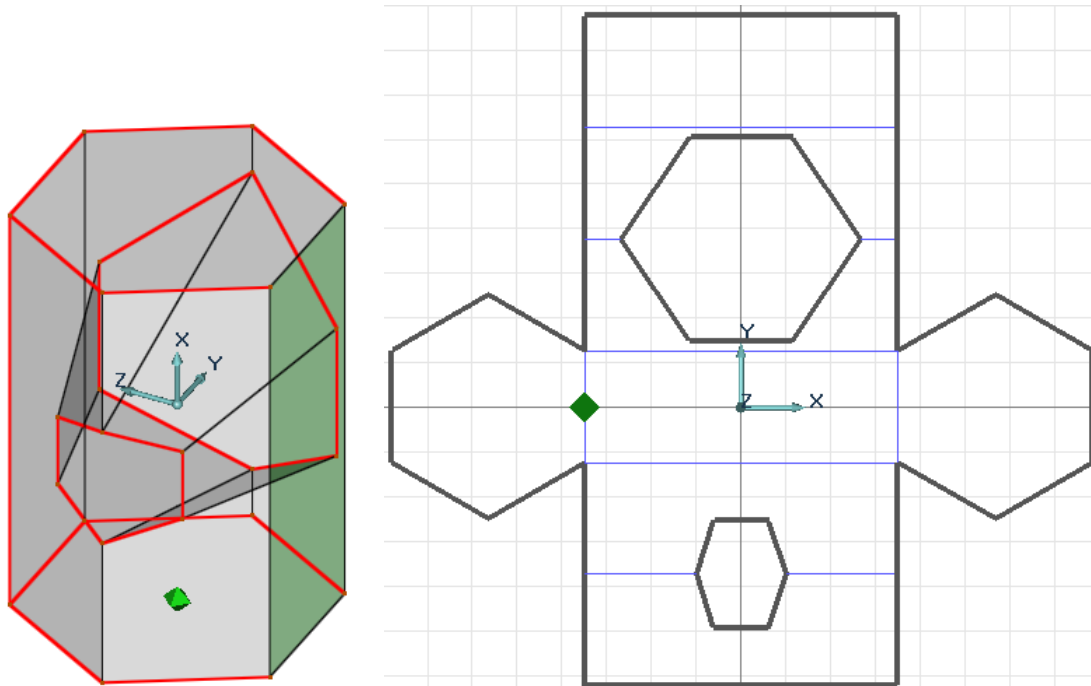





Рисунок 5.3 - Построение развертки наружной поверхности призмы

11. Используя режим **Проекция грани**  и включив режим выделения **3D только** последовательно указывая элементы построенной Вами развертки (2 основания и 6 боковых граней призмы), получите их проекции на рабочую плоскость.

12. Выделите (в режиме **3D только**) и удалите () не нужную теперь развертку.

13. Построенную Вами проекцию развертки на рабочую плоскость обведите утолщенной линией (**Изменение типа линий** , ) так, как показано на рисунке 5.3 справа.

14. Запишите полученный результат в свой архив.

Теперь при необходимости можно вычислить геометрические характеристики полученной Вами плоской фигуры (см. урок 4), распечатать на бумаге в натуральную величину или изготовить (например, из листа жести), чтобы потом согнув получить деталь.

**Задания для упражнений** Воспользовавшись представленным выше алгоритмами построения линий взаимных пересечений, выполнения булевых операций, построения и определения геометрических характеристик разверток поверхностей, для закрепления приобретенных знаний определите линии пересечения тел вращения при пересекающихся (рисунок 5.4) и скрещивающихся (рисунок 5.5) осях, выполните булевы операции вычитания и постройте развертки поверхностей полученных моделей (рисунок 5.6).

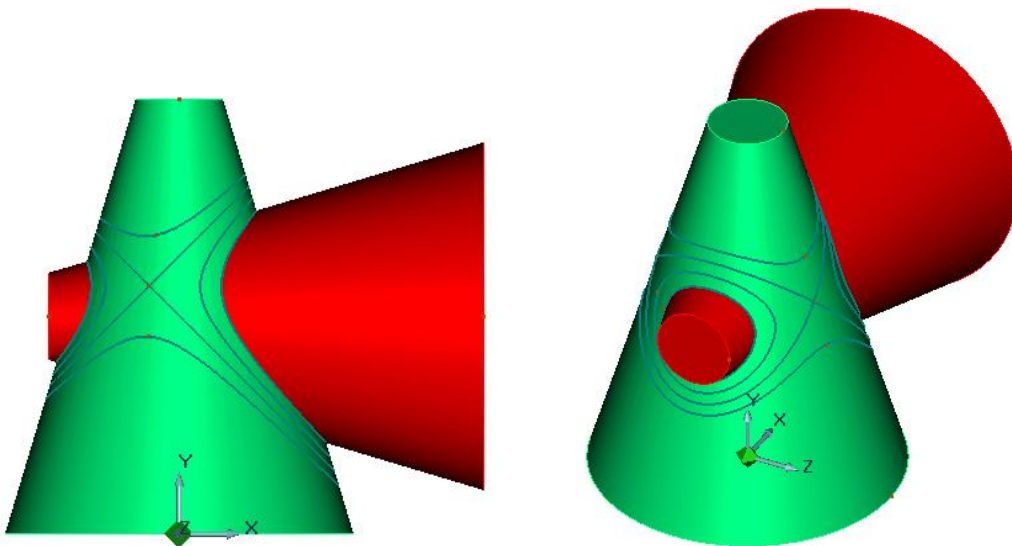


Рисунок 5.4 - Линии пересечения конусов при пересекающихся осях

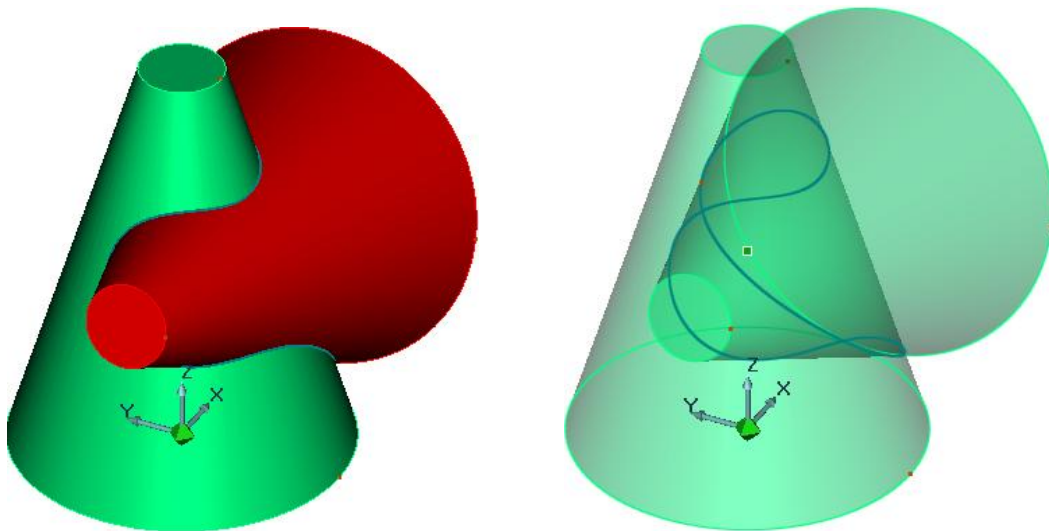


Рисунок 5.5 - Линия пересечения конусов при скрещивающихся осях

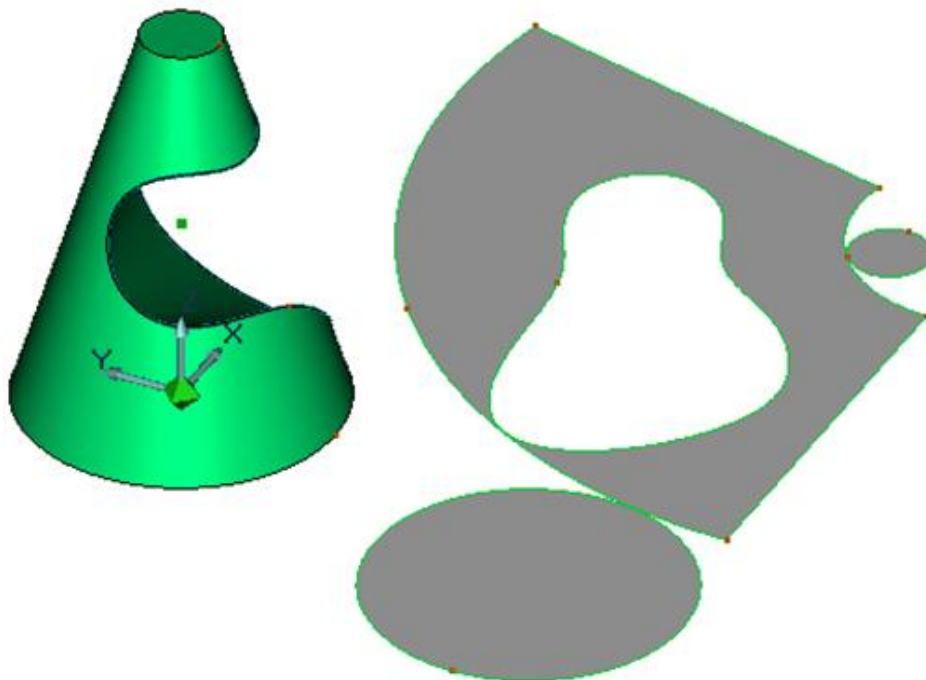


Рисунок 5.6 - Построение развертки

## Урок 6 . Моделирование деталей из БЭФ

Используя базу параметрических моделей БЭФ, постройте 3D модели деталей, представленных на рисунке 6.1.

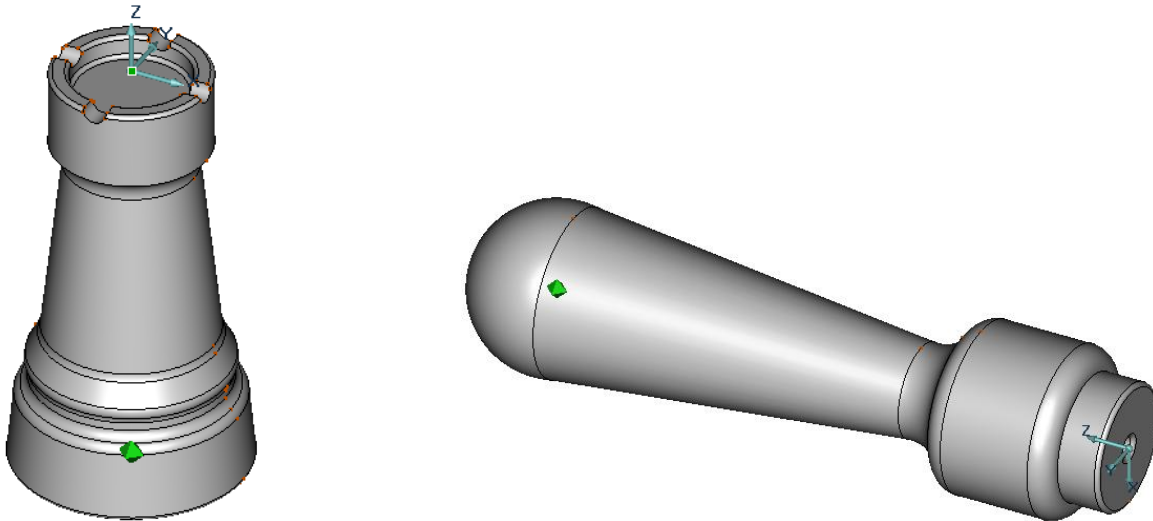



Рисунок 6.1 - 3D модели деталей из БЭФ

Постройте 3D модель шахматной ладьи. Для этого воспользуйтесь базой параметрических моделей БЭФ. Чтобы смоделировать основание ладьи:

1.Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** (  ), выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Конус ПРМ, Открыть**.

2.Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ усеченного конуса: диаметр нижнего основания - 30 мм, высота конуса - 10 мм, диаметр верхнего основания - 25 мм. **ОК**. Выведите изометрическое изображение конуса на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home**, **Пробел**, **Пробел**,

**Esc**, **Q**, **E** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** (  ) меню.

3.Перенесите начало координат на 10 мм вверх по оси Z (**Zабс.=10**, **ОК**).

Для формирования цилиндрического перехода (рисунок 6.2 а):

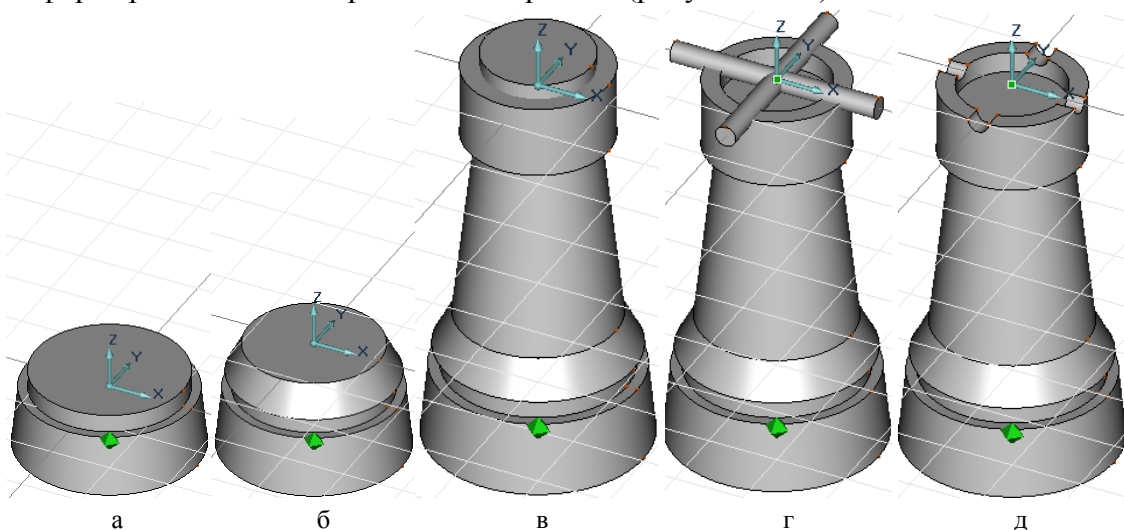



Рисунок 6.2 - Построение 3D модели шахматной ладьи


1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** () , выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Цилиндр ПРМ, Открыть**.

2. Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ цилиндра: диаметр основания 25 мм, высота - 3 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.

3. Перенесите начало координат на 13 мм вверх по оси Z (**Забс.=13, ОК**).

Чтобы сформировать конический переход (рисунок 6.2б):


1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** () , выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Конус ПРМ, Открыть**.

2. Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ усеченного конуса: диаметр нижнего основания - 27 мм, высота конуса - 5 мм, диаметр верхнего основания - 22 мм. **ОК**. Выведите изометрическое изображение конуса на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.

3. Перенесите начало координат на 18 мм вверх по оси Z (**Забс.=18, ОК**).

Смоделируйте тело ладьи:


1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** () , выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Конус ПРМ, Открыть**.

2. Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ усеченного конуса: диаметр нижнего основания - 22 мм, высота конуса - 27 мм, диаметр верхнего основания - 16 мм. **ОК**. Выведите изометрическое изображение конуса на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.


3. Перенесите начало координат на 45 мм вверх по оси Z (**Забс.= 45, ОК**).

Смоделируйте оголовок ладьи:

1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** () , выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Цилиндр ПРМ, Открыть**.

2. Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ цилиндра: диаметр основания 20 мм, высота - 10 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел, Пробел, Esc** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.

3. Перенесите начало координат на 52 мм вверх по оси Z (**Забс.=52, ОК**).

4. Объедините модели основания, переходников, тела и оголовка ладьи, выполнив булеву операцию **Объединение элементов** () .


Для моделирования внутренней полости оголовка (рисунок 6.2 в):

1. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** () , выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Цилиндр ПРМ, Открыть**.

2. Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ цилиндра: диаметр основания 15 мм, высота - 5 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел,**

**Пробел, Esc** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.

3. Перенесите начало координат на 55 мм вверх по оси Z (**Забс.=55, ОК**).

4. Выполните булеву операцию **Вычитание элементов** () для формирования полости в оголовке.

Смоделируйте бойницы оголовка (рисунок 6.2 г и рисунок 6.2 д):


1. Поверните рабочую плоскость вокруг оси X на 90 градусов, расположив ее вертикально.

2. Последовательно нажмите на кнопку **Чтение Фрагмента** () , выберите папку **ПРМ Модели БЭФ, Цилиндр ПРМ, Открыть**.

3. Отредактируйте параметры, представленного в базе ПРМ моделей БЭФ цилиндра: диаметр основания 3 мм, высота - 30 мм, **ОК**. Выведите изометрическое изображение на поле экрана: на запрос системы **Положение/Tab** последовательно нажмите кнопки **Home, Пробел,**

**Пробел, Esc** клавиатуры и кнопку **Изометрический вид** () меню.

4. Верните рабочую плоскость в горизонтальное положение, повернув ее вокруг оси X на минус 90 градусов.

5. Перенесите () цилиндр так, чтобы он был расположен симметрично относительно начала координат.

6. Сделайте угловую копию цилиндра, развернув ее на 90 градусов по отношению к оригиналу (см. рисунок 6.2 г).

7. Вычтите копии цилиндров из модели оголовка ладьи (см. рисунок 6.2 д).

Для формирования плавных переходов скруглите ребра (см. рисунок 6.1 слева):

- на верхнем торце оголовка и его внутренней полости, а также нижнее ребро основания радиусом 0.5 мм;

- на стыке оголовка и тела ладьи, а также тела ладьи и конического переходника радиусом 3 мм;

- 4 ребра оставшихся ребра - радиусом 2 мм.

### **Задания для упражнений.**

1. Для закрепления навыков работы рекомендуем построить 3D модель ручки напильника, используя последовательность действий, предложенную выше для построения модели шахматной ладьи.

Во-первых, 3D модель ручки в этом случае (см. рисунок 6.1) состоит (слева направо) из моделей БЭФ: сферы, усеченного конуса, цилиндра, цилиндра, предназначенного под установку кольца и внутреннего конуса для установки в него наконечника напильника.

Во-вторых, перечислим порядок и рекомендуемые геометрические параметры входящих элементов:

- сфера диаметром 40 мм (центр расположен в начале координат);
- усеченный конус с нижним основанием 40 мм, высотой 100 мм, диаметром верхнего основания 20 мм (нижнее основание расположено в начале координат);
- цилиндр диаметром 40 мм и высотой 30 мм, нижнее основание которого расположено на расстоянии 100 мм от начала координат ( $Z_{абс.} = 100$ );
- цилиндр диаметром 30 мм и высотой 10 мм, нижнее основание которого расположено на расстоянии 130 мм от начала координат ( $Z_{абс.} = 130$ );
- усеченный конус с нижним основанием 5 мм, высотой 80 мм, диаметром верхнего основания 1 мм, нижнее основание которого расположено на расстоянии 140 мм от начала координат ( $Z_{абс.} = 140$ ). Однако направление оси  $Z$  должно быть направлено вовнутрь модели ручки;
- перед выполнением радиусных скруглений ребер необходимо объединить элементы, формирующие внешнюю поверхность ручки;
- радиус скругления ребра между конусом и цилиндром равен 10 мм, радиусы скругления обоих ребер цилиндра (см. рисунок 6.1) - 5 мм;
- радиус скругления ребер на торце ручки - 1 мм;
- чтобы вычистить из модели ручки модель полости внутреннего конуса, воспользуйтесь режимом **Открыть**.

2. Постройте модель реального штуцера, представленного преподавателем, используя библиотеку 3D ПРМ БЭФ.

Рекомендуемая последовательность построения модели типового штуцера представлена на рисунке 6.3.

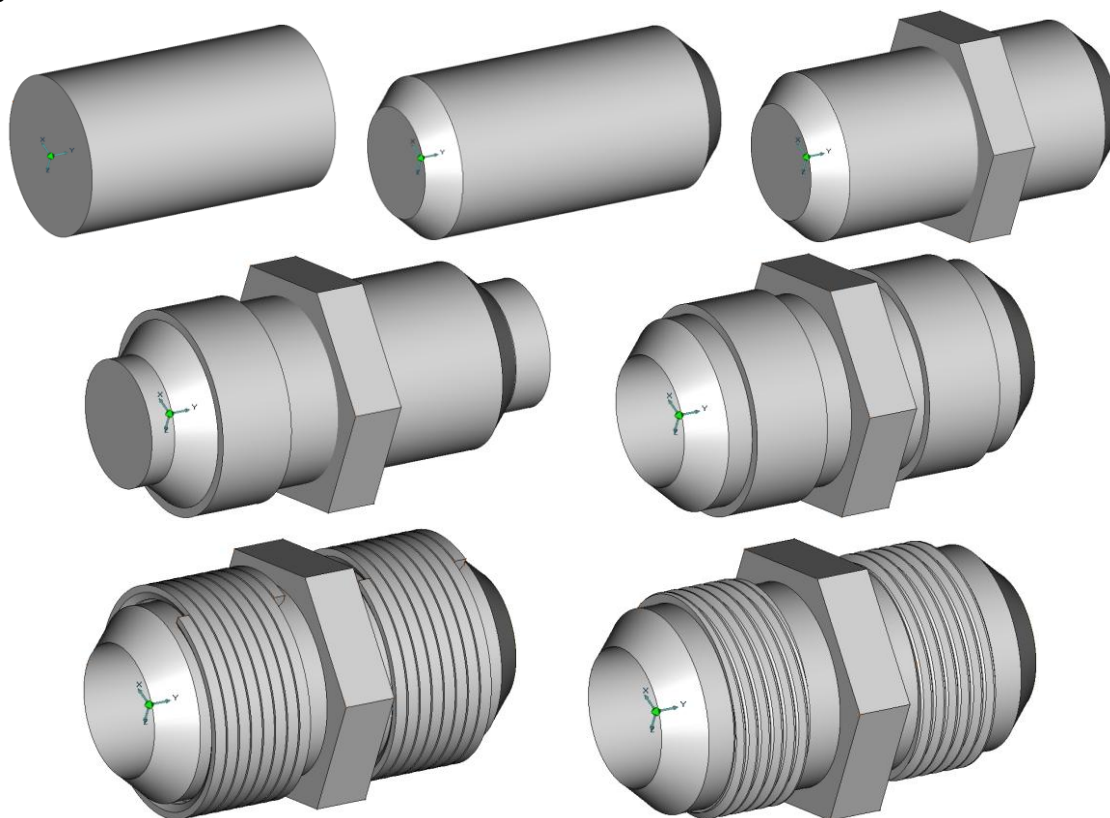


Рисунок 6.3 - Последовательность построения 3D модели штуцера с натуры

Выбор БЭФ из библиотеки 3D ПРМ БЭФ с последующим редактированием каждого из них осуществляют в соответствии с результатом обмеров штангенциркулем.

## Урок 7. Топологические преобразования поверхности. Работа с узлами

### Топологические преобразования

Топологическими называют преобразования, связанные с изменением топологии геометрической модели. Геометрические модели, такие как линии и поверхности, могут быть заданы совокупностью точек, расположенных в пространстве по определенному закону. Изменяя расположение этих точек в пространстве, можно получать геометрические объекты любой формы.

Модели пространственных геометрических объектов на плоскости (на поле экрана) могут быть представлены в каркасном или поверхностном отображении. Продольные и поперечные линии каркаса называют сечениями. Точки взаимного пересечения сечений - узлами.

### Работа с единичными узлами (перемещение и скругление)

Для выполнения преобразований, связанных с изменением топологии модели, и приобретения навыков работы с ее отдельными элементами (узлами) в качестве объекта построим 3D модель отсека плоскости (рисунок 7.1).

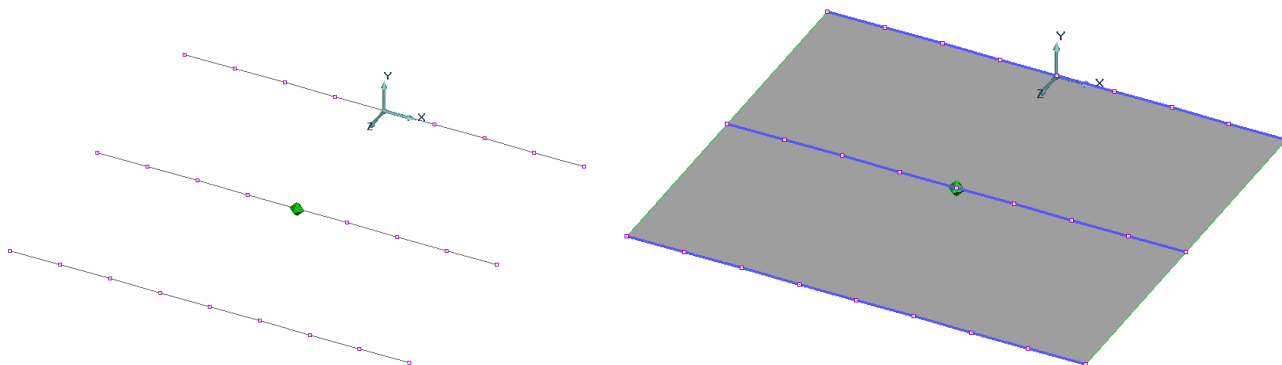











Рисунок 7.1 - Построение 3D модели отсека плоскости

Для этого установите курсор в начало координат **None**, переместите начало координат в центр экрана **Q, E, E**. Постройте в плоскости **XZ**  используя элемент **Ломаная линия** , проходящую через начало координат ломаную прямую с шагом 20 мм (**D=20, Enter**), состоящую из 9 узлов, так как показано на рисунке 7.1 слева. Затем последовательно получите две копии этой ломаной прямой, каждая из которых расположена в параллельной плоскости, отстоящей от исходной на 70 мм: , **2D только**, на запрос системы **2D элементы - ломаная прямая, Esc, Выбор команды - Копия** , **Произвольная, Исходная точка - None, Пробел, Положение/Tab - Z=70, Enter, None, Пробел, Z= - 70, Enter, None, Пробел.**

Включите режим **Сечения**  и постройте отсек плоскости, как показано на рисунке 7.1 справа, последовательно указав построенные ломаные линии, **Esc, Esc**. Чтобы были видны

исходные линии в диалоге **Изображение** (под кнопкой **Режимы отображения** ) включите режим **Исходные профили**.

Установите начало координат в начальное положение  $Z=0$ , **Enter**. Перейдите в плоскость **XY** .

Используя режим **Корректировка** , **Узлы фиксированы**, как показано на рисунке 7.2, последовательно перенесите (кнопкой со стрелкой на клавиатуре) узлы, принадлежащие средней линии отсека плоскости: центральный - на 140 мм вниз от начала координат, два узла соседних с центральным - параллельно вниз на 120 мм. Произведите скругление центрального узла в новом положении  (см. рисунок 7.2).

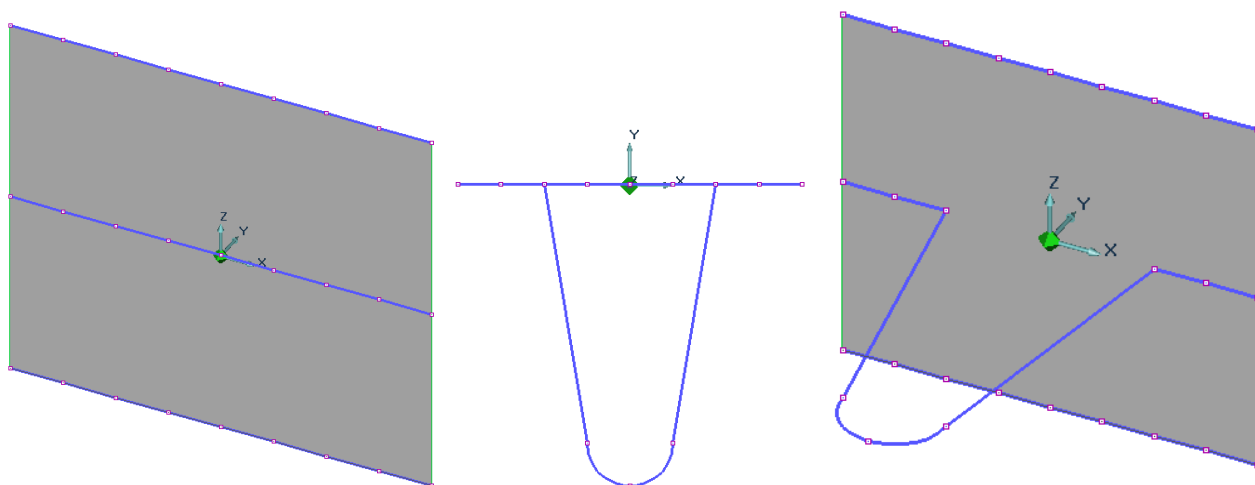


Рисунок 7.2 - Изменение положения узлов

Произведите регенерацию 3D модели  (рисунок 7.3).

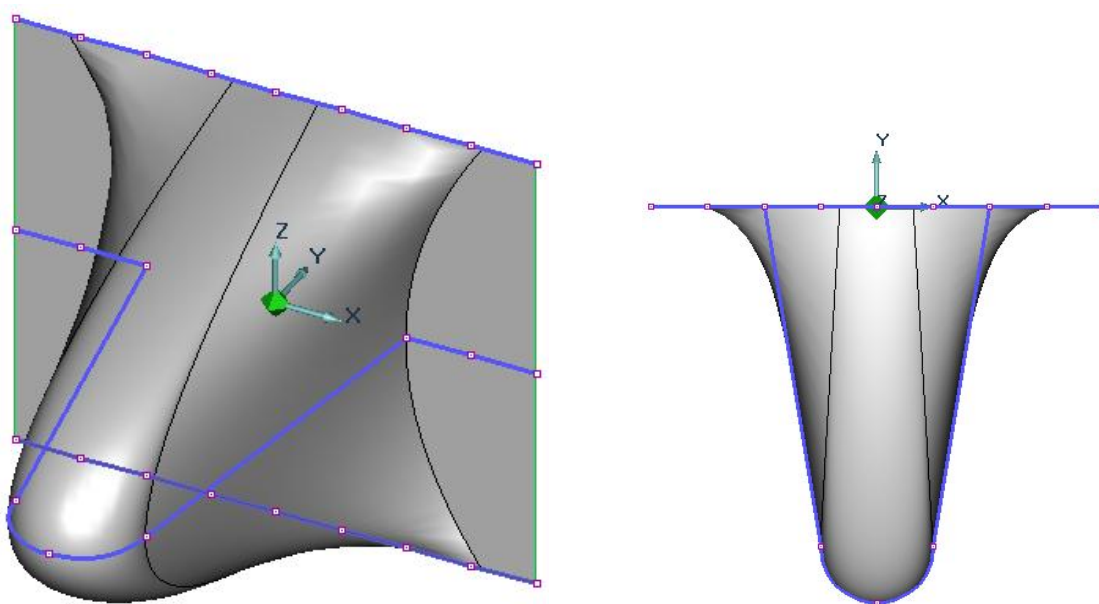





Рисунок 7.3 - Результат регенерации



Измените положение периферийных (крайних) узлов средней линии, сместив их на 40 мм вниз ( , **Узлы фиксированы**) и "скруглите"  соседние к ним в направлении к центру узлы радиусом 20 мм. Произведите регенерацию  (рисунок 7.4).

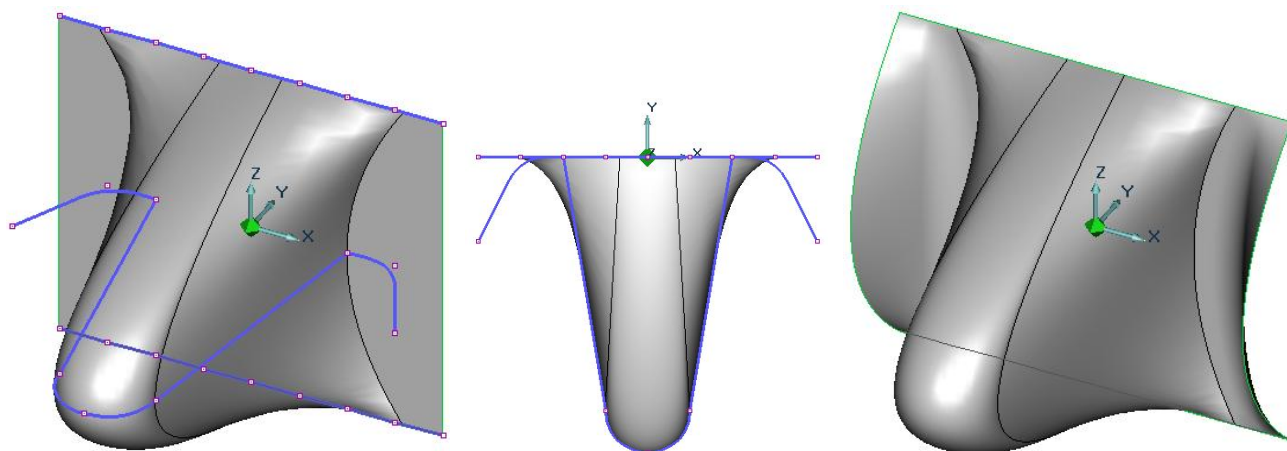




Рисунок 7.4 - Изменение положения периферийных узлов и результат регенерации

Измените положение центральных (средних) узлов каждого из двух периферийных (крайних) исходных профилей, переместив их вверх (с помощью кнопки со стрелкой на клавиатуре) на 80 мм. Переместите так же вверх на 60 мм соседние с ними узлы. Скруглите  радиусом 20 мм верхний узел. Произведите регенерацию . На рисунке 7.5 представлен результат перемещений узлов крайних исходных профилей и регенерации полученной модели (на рисунке 7.5 справа - прозрачное отображение).

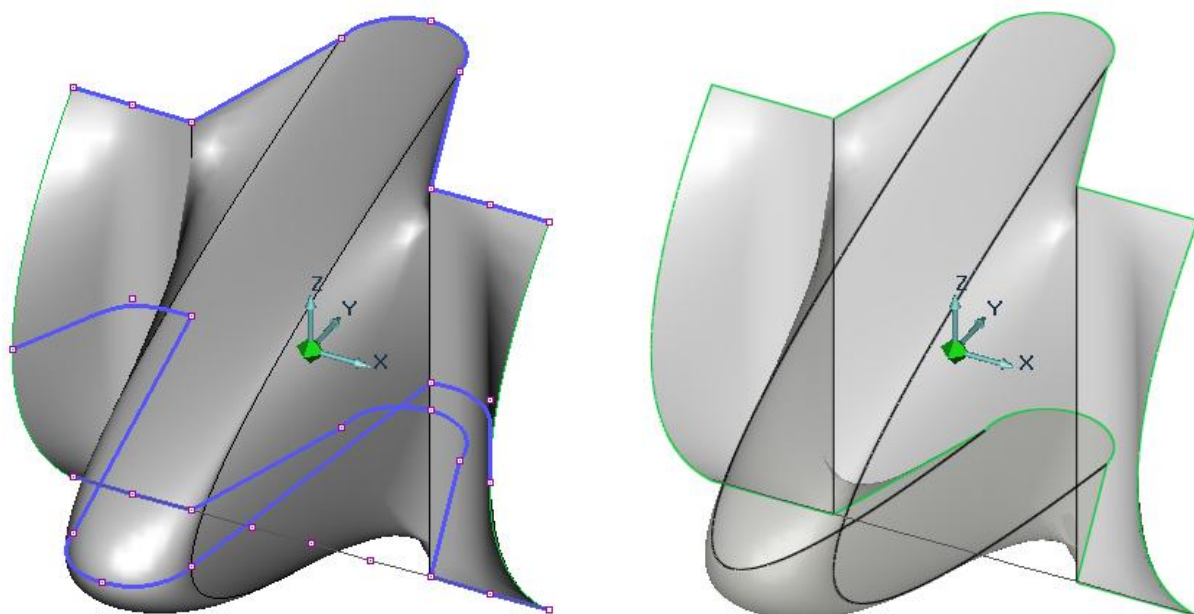



Рисунок 7.5 - Изменение положения узлов периферийных профилей и результат регенерации

Как показано на рисунке 7.6, скруглите  4 узла (по два на каждом из крайних (периферийных) профилей) радиусом 25 мм и произведите регенерацию модели полученной поверхности.

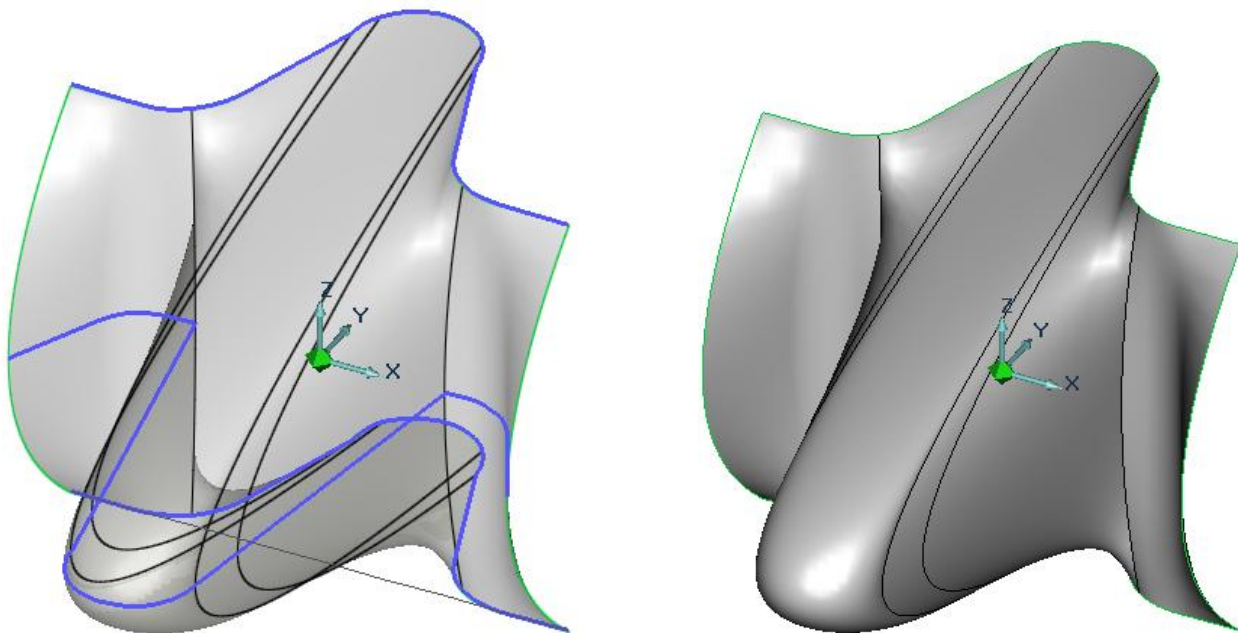




Рисунок 7.6 - Результат скругления узлов и регенерации модели

Сохраните 3D модель полученной поверхности в файле, например, .../Работа с узлами\_1.adm.

### Работа с группой узлов (вращение)

Возвратесь  к 3D модели отсека плоскости (см. рисунок 7.1).

В плоскости **XY** поверните на  $70^{\circ}$  вокруг начала координат дальний профиль (рисунок 7.7): , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** - дальний профиль, **Esc**, **Выбор команды** - **Поворот** , **Угол**, **Центр** - **None**, **Пробел**, **Угол = 70**, **OK**, **Esc**.

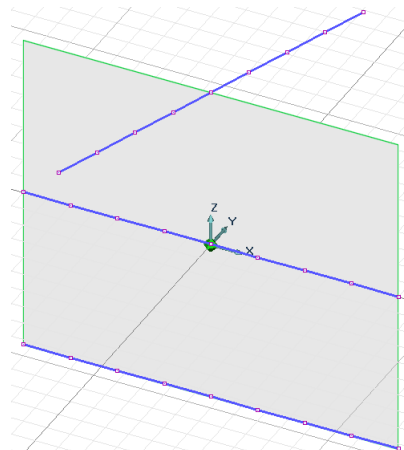
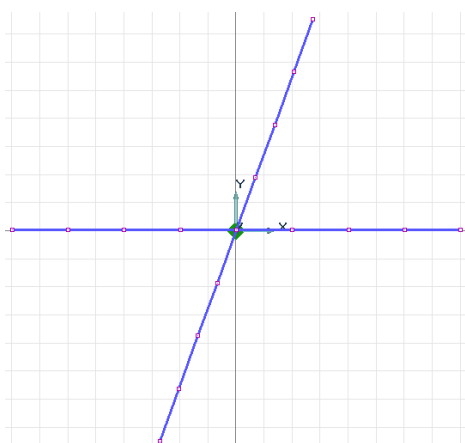





Рисунок 7.7 - Поворот дальнего профиля

На рисунке 7.8 представлена 3D модель полученной поверхности в плоскостях (слева - направо) **XY**, **XZ**, **YZ** и в аксонометрии после регенерации . Для нанесения линий каркаса используйте **Построение UV линий**  (под кнопкой **Линия пересечения** ): **Число шагов U = 10**, **Число шагов V = 10**, **OK**.

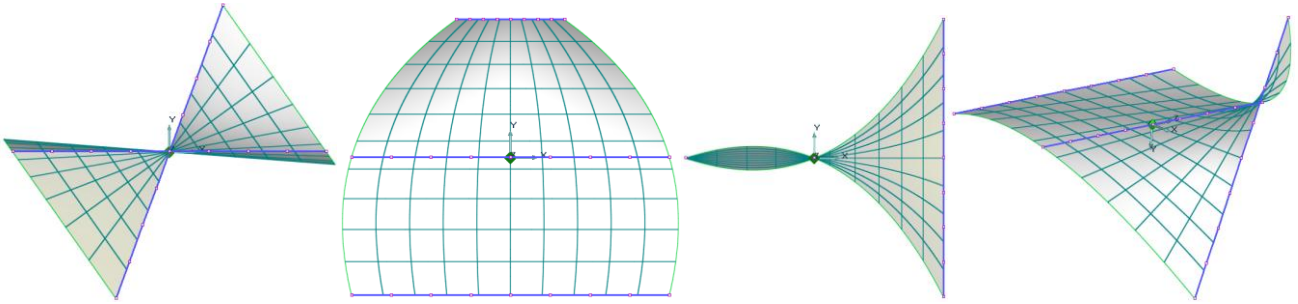


Рисунок 7.8 - 3D модель поверхности, полученной из отсека плоскости

Аналогично произведите поворот ближнего профиля в противоположном направлении на угол минус 70 градусов (рисунок 7.9).

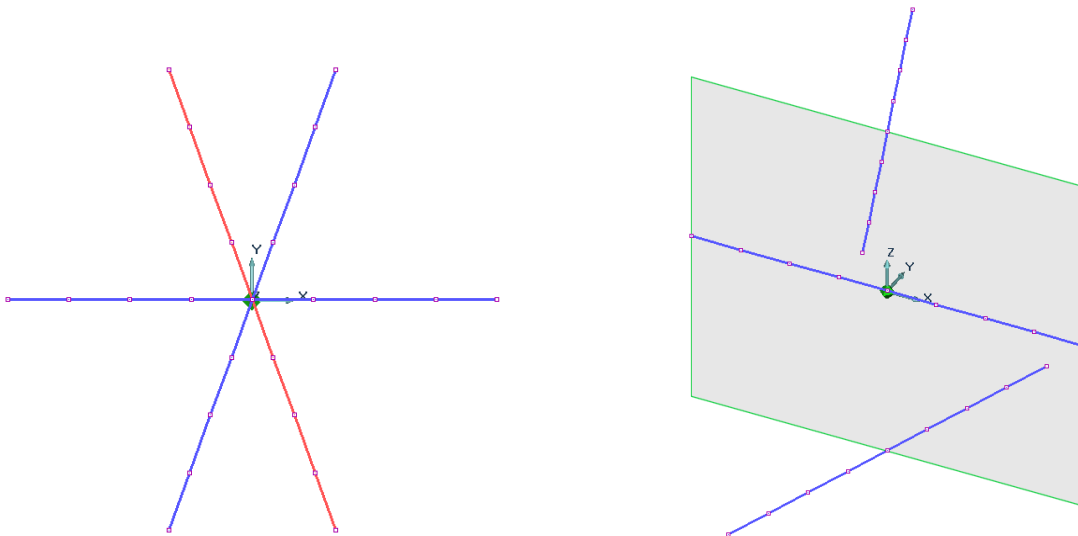



Рисунок 7.9 - Поворот ближнего профиля

После регенерации  получите модель неразвертываемой поверхности, которая называется "косой плоскостью" (рисунок 7.10).

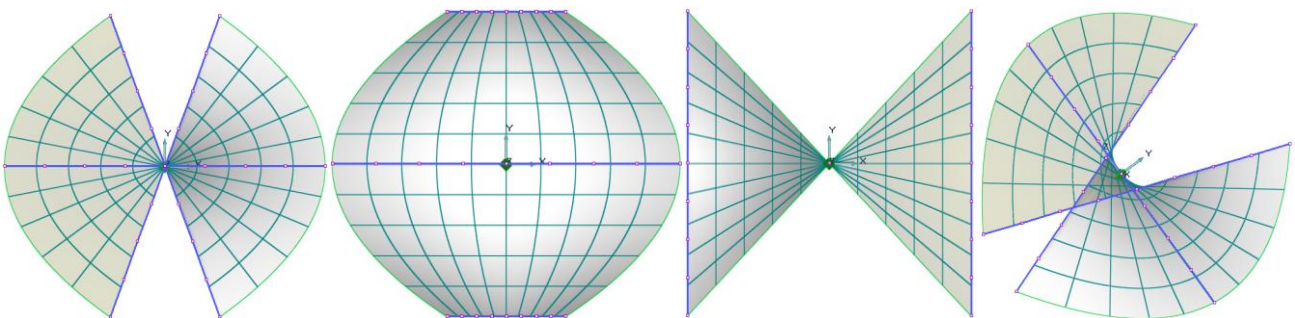




Рисунок 7.10 - 3D модель "косой плоскости"

Для нанесения линий каркаса используйте **Построение UV линий**  (под кнопкой **Линия пересечения** ).

Сохраните 3D модели полученных поверхностей в файлах, например, .../Работа с узлами\_2 .adm и .../Работа с узлами\_3 .adm.

## Урок 8. Топологические преобразования поверхности. Работа с сечениями

### Работа с сечениями (копирование, перемещение, вращение)

Для приобретения навыков работы с сечениями построим 3D модель тора. Затем преобразуем ее в 3D модель цилиндра. 3D модель цилиндра будем использовать для формирования 3D моделей (путем работы с отдельными сечениями) других, наперед заданных объектов.

Постройте 3D модель тора (рисунок 8.1).

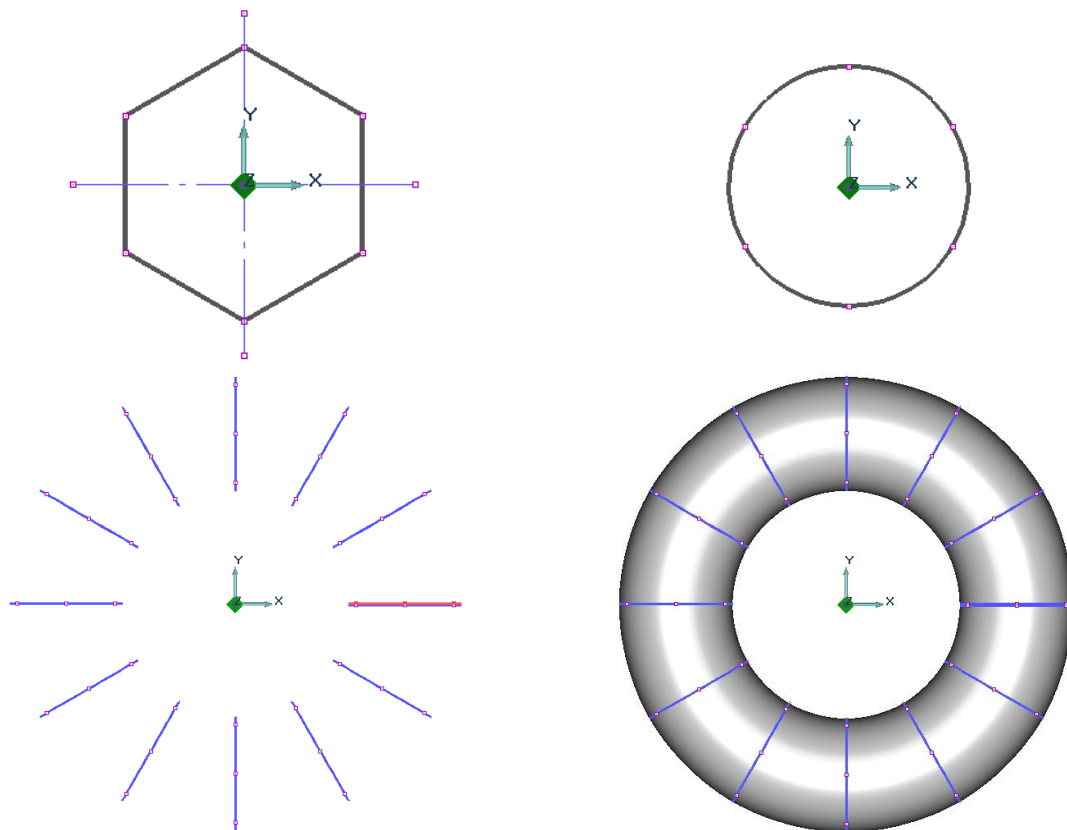


















Рисунок 8.1 - Построение 3D модели тора

Для создания 3D модели тора установите курсор в начало координат **None**, переместите начало координат в центр экрана **Q**, **E**, **E**. В плоскости **XZ** , используя элемент **Многоугольник с осями симметрии**  (расположенный под кнопкой **Замкнутый контур** ) постройте, как показано на рисунке 8.1 вверху слева, шестиугольник (**Число сторон = 6**, **Вписанный**, **ОК**, **None**, **Пробел**, периферийный узел - ниже начала координат на 20 мм). Выделите и удалите оси симметрии: , **2D только**, на запрос системы **2D элементы** - последовательно укажите обе оси, **Esc**, **Удалить** . Скруглите средние 3 узла , начиная с нижнего (см. рисунок 8.1 вверху справа). Перейдите в плоскость **XY** , .

Перенесите построенную окружность вправо на 60 мм от начала координат: , **2D только**, на запрос системы **2D элементы** - укажите проекцию окружности, **Esc**, **Перенос** , **Исходная точка** - **None**, **Пробел**, **Положение** – **X=60мм**, **ОК**, **Пробел**.

Произведите угловое копирование окружности: , **2D только**, на запрос системы **2D элементы** - укажите проекцию окружности, **Esc**, **Копия** , **Угловая**, **Центр** - **None**, **Пробел**, **Угол** = 30, **Число** =12, **ОК**. Полученные копии окружностей являются сечениями создаваемого тора (рисунок 8.1 внизу слева).

Чтобы операция построения тора оказалась корректной, сместите последнее из построенных сечений вниз на 0.5 мм: , **2D только**, на запрос системы **2D элементы** - укажите нужное (то, которое не выделено красным цветом от предыдущей операции копирования) сечение, (**Этот? Y**), **Esc**, **Перенос** , **Исходная точка** - **None**, **Пробел**, **Положение** – **Y= - 0.5мм**, **ОК**, **Пробел**. Для удобства выделения сечения используйте возможность просмотра модели в аксонометрии: **Shift+ЛКМ** + перемещение мыши.

Для создания 3D модели тора (рисунок 8.1 внизу справа) включите режим **Сечения** , последовательно укажите построенные проекции окружностей (с 1-й по 13-ю), **Esc**, **Esc**. Чтобы были видны исходные линии в диалоге **Изображение** (под кнопкой **Режимы отображения** ) , включите режим **Исходные профили**.

Сохраните 3D модель тора в свой архив.

Преобразуйте 3D модель тора в 3D модель цилиндра (рисунок 8.2).

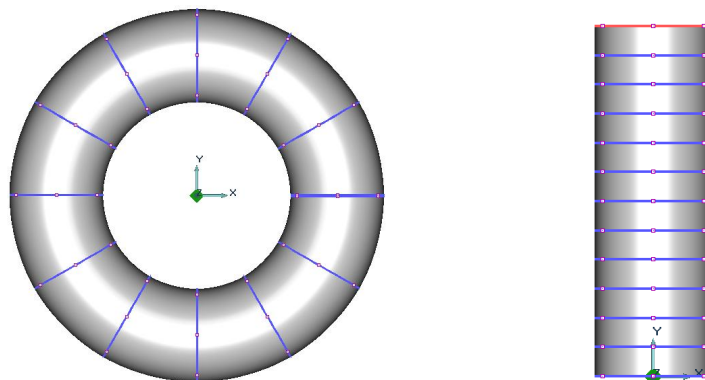





Рисунок 8.2 - 3D модели тора и цилиндра

Как показано на рисунке 8.3 перенесите первое сечение модели тора в новое положение так, чтобы вертикальная ось создаваемой модели поверхности цилиндра проходила через начало координат. Перемещаемое сечение тора будет первым сечением вертикально расположенной поверхности цилиндра.

Для этого: включите режим выбора элементов , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** - укажите первое сечение, **Esc**, **Перенос** , **Исходная точка** - ближний (средний) узел обращенной к наблюдателю части проекции окружности, которая является

первым сечением тора, **С, Пробел, Положение – D=60**, кнопка со стрелкой влево, **ОК, Пробел**.

Для удобства выделения сечения используйте возможность просмотра модели в аксонометрии: **Shift+ЛКМ** + перемещение мыши.

Произведите регенерацию модели, нажав  (результат см. рисунок 8.3 справа).

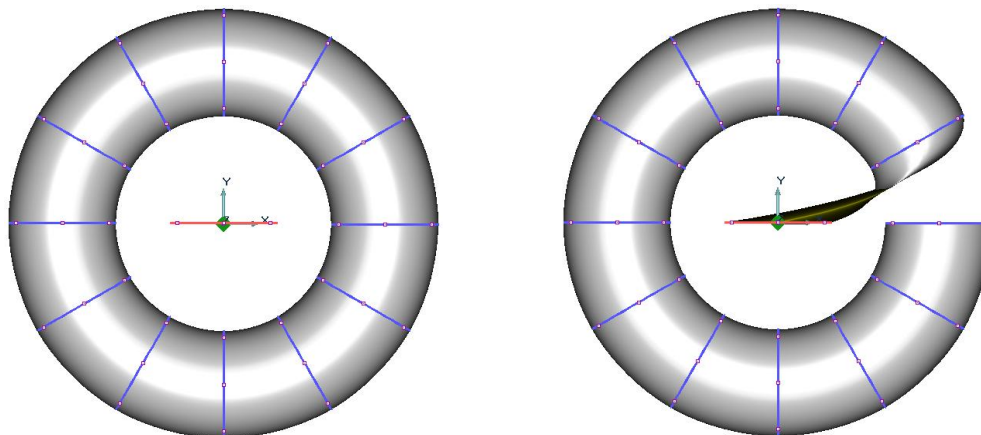


Рисунок 8.3 - Перенос первого сечения тора

Теперь поверните второе сечение тора и перенесите его на место второго сечения цилиндра (рисунок 8.4).

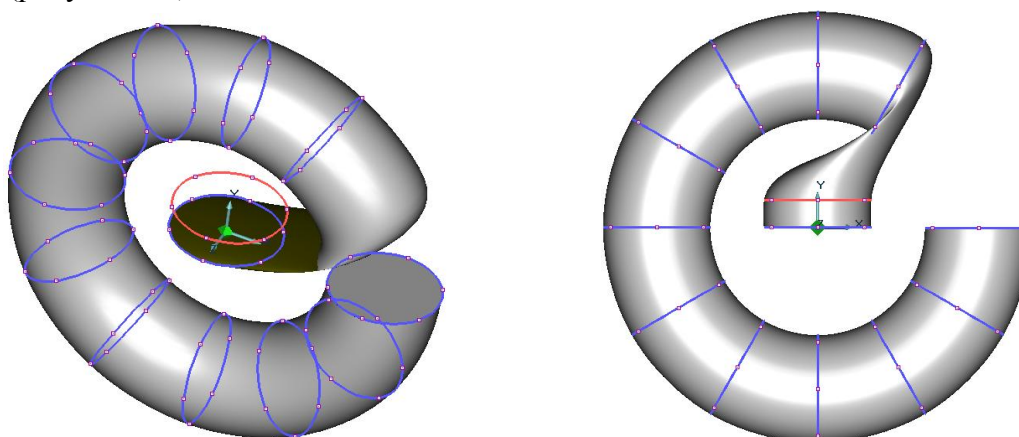





Рисунок 8.4 - Перенос второго сечения тора

Чтобы второе сечение тора расположить горизонтально: включите режим выбора элементов , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** - укажите второе сечение, **Esc, Поворот** , **Центр** - ближний к наблюдателю узел обращенной к нему части проекции окружности, которая является вторым сечением тора, **С, Пробел, Угол = -30°**, **ОК, Пробел**.

Поставьте второе сечение в нужное положение: **Перенос** , **Исходная точка** - ближний к наблюдателю узел обращенной к нему части проекции окружности, которая является вторым сечением тора, **С, Пробел, Положение – аналогичный узел первого сечения, С, D = 10**, кнопка со стрелкой вверх **ОК, Пробел**. При этом **Мышь** должна оставаться в полном покое.

Для удобства выделения сечения, а также контроля его положения относительно оси цилиндра, используйте возможность просмотра модели в аксонометрии: **Shift+ЛКМ** + перемещение мыши (см. рисунок 8.4 слева).

Произведите регенерацию модели, нажав  (результат см. рисунок 8.4 справа).

**Регенерацию модели следует производить каждый раз после установки на место очередного сечения!**

Действуя аналогично, последовательно поверните и перенесите 3, 4 и 5 сечения тора.

Для формирования модели цилиндра каждое из его сечений должно отстоять от предыдущего на 10 мм.

Прежде чем переносить последующие сечения следует выделить и повернуть вокруг начала координат сразу все оставшиеся (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 и 13) сечения тора на угол  $-90^{\circ}$  (рисунок 8.5).

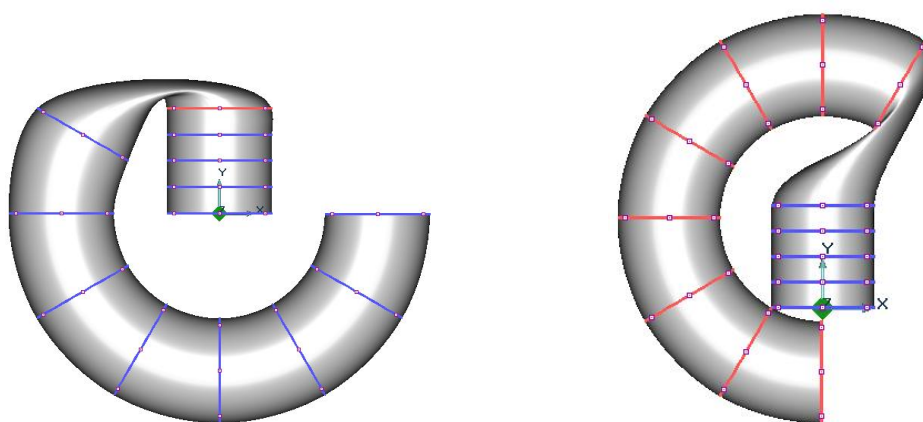


Рисунок 8.5 - Поворот группы сечений тора

После поворота и переноса 6, 7 и 8 сечений, следует вновь выделить и повернуть, как показано на рисунке 8.6, все оставшиеся (9, 10, 11, 12 и 13) сечения тора на угол  $-90^{\circ}$ .

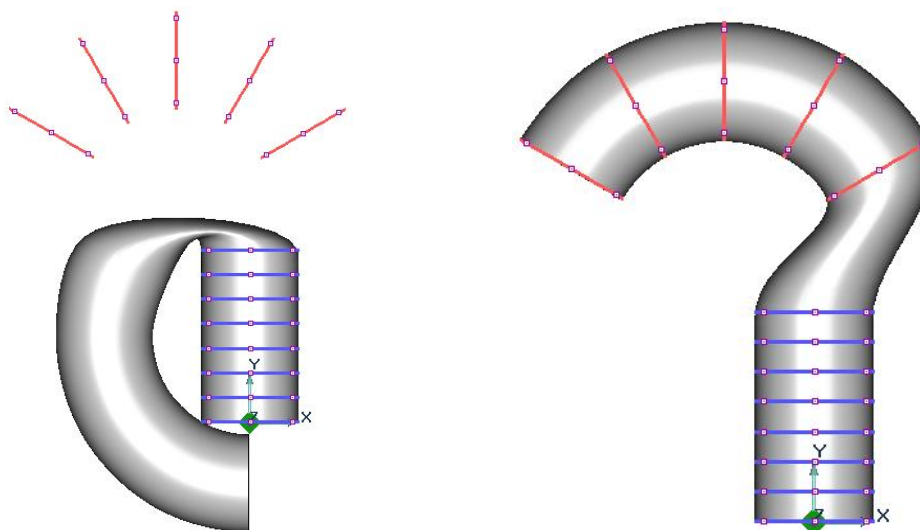


Рисунок 8.6 - Поворот группы сечений тора (слева - до, справа - после регенерации)

Последовательно поверните и перенесите на место 9, 10, 11, 12 и 13 сечения тора (рисунок 8.7).

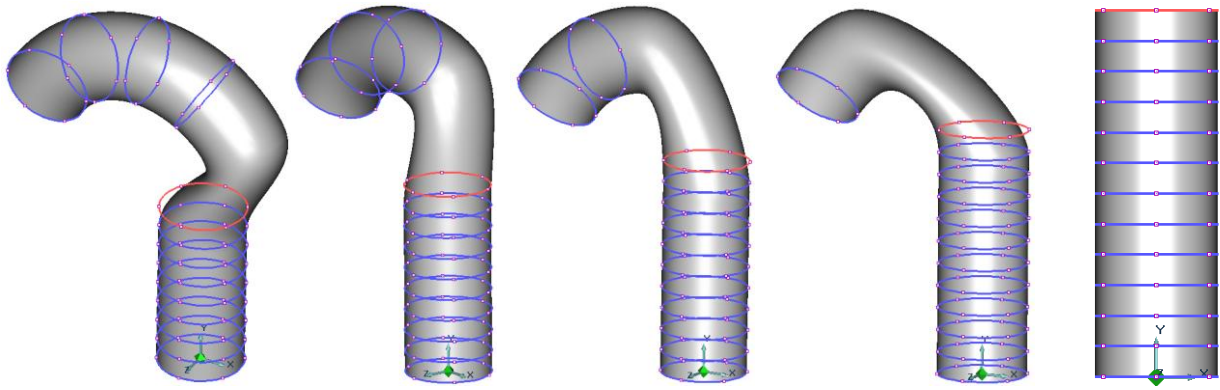


Рисунок 8.7 - Формирование сечений цилиндра

Сохраните 3D модель цилиндра в свой архив.

## **Урок 9. Топологические преобразования поверхности. Работа с сечениями (продолжение)**

### **Работа с сечениями (масштабирование и перемещение)**

Следующим этапом освоения работы с сечениями является приобретение навыков по их масштабированию. Преобразуйте 3D модель цилиндра в 3D модель поверхности, которую условно назовем «мембраной» (рисунок 9.1).



Рисунок 9.1 - 3D модели и цилиндра и мембраны

Для этого потребуется последовательно осуществить масштабирование каждого из 13 сечений и перенести 3 -13 сечение отдельно вдоль оси Y так как показано на рисунке 9.2.

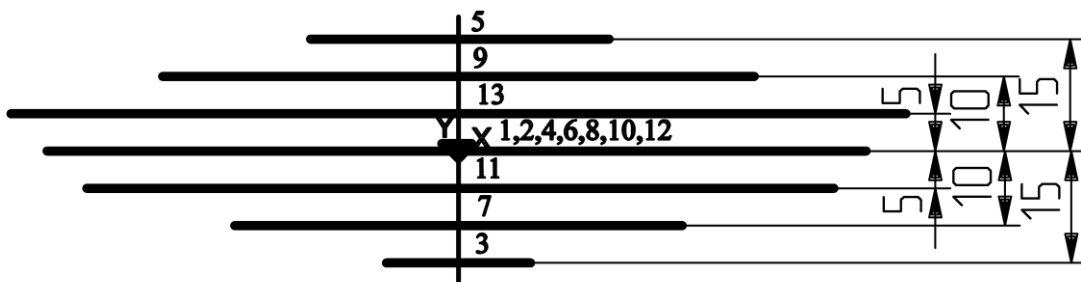










Рисунок 9.2 - Схема итогового положения каждого из сечений



Прочтите, хранящийся в архиве файл с 3D моделью цилиндра. Произведите масштабирование первого (нижнего) сечения. Для этого: включите режим выбора элементов , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** - укажите первое сечение, **Esc**, **Масштаб** , **Центр - Home**, **С**, **Пробел**, **Масштаб** = 0.01, **ОК**. Произведите **регенерацию 3D модели**, нажав .

Произведите масштабирование второго сечения. Для этого: включите режим выбора элементов , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** - укажите второе сечение, **Esc**, **Масштаб** , **Центр - Home**, **С**, **Пробел**, **Масштаб** = 0.1, **ОК**. Произведите **регенерацию 3D модели**, нажав .

Масштабирование третьего сечения производить не надо. Однако, в отличие от первых двух сечений его следует перенести вниз вдоль оси Y так, как показано на рисунке 9.2: ниже начала координат на 15 мм. При этом, чтобы сечения оставались соосными, использовать кнопки **Home**, **X** или **Y** нельзя. Следует привязываться к любому узлу перемещаемого сечения, перемещать его вместе с сечением, используя клавиши клавиатуры со стрелками (вверх или вниз) и руководствуясь изменением координаты Y в бегущей строке (внизу экрана слева).

Включите режим выбора элементов , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** - укажите третье сечение, **Esc**, **Перенос** , **Исходная точка** - узел, принадлежащий третьему сечению, **С**, **Пробел**, **Положение** – перемещение сечения кнопкой со стрелкой вниз до достижения значения Y = - 15, **Пробел** (рисунок 9.3 слева).

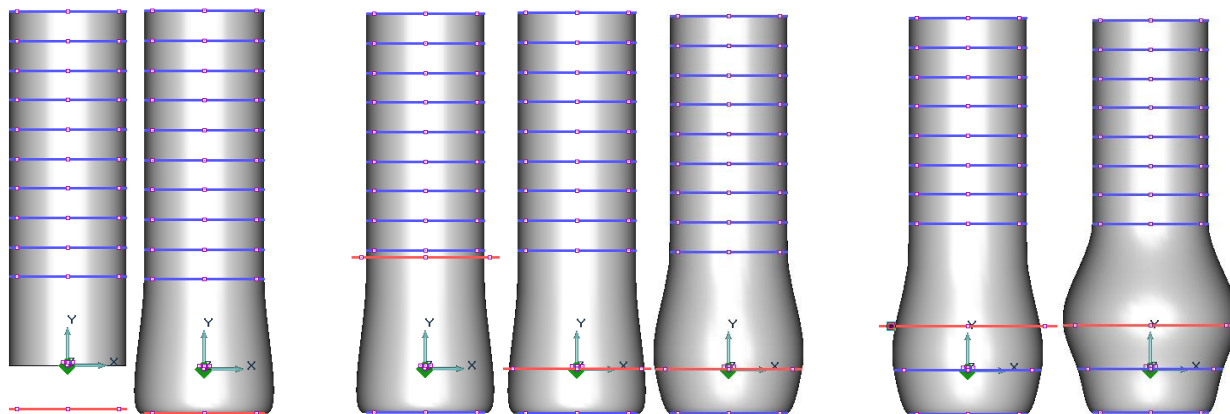







Рисунок 9.3 - Перенос 3-го сечения, масштабирование и перенос 4-го сечения и 5-го сечений с последующей регенерацией 3D модели

Произведите масштабирование четвертого сечения (рисунок 9.3 посередине). Для этого: включите режим выбора элементов , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** - укажите четвертое сечение, **Esc**, **Масштаб** , **Центр - Home**, **С**, **Пробел**, **Масштаб** = 1.25, **ОК**. Включите режим выбора элементов , **Профили**, на запрос системы **2D элементы** -

укажите четвертое сечение, **Esc**, **Перенос** , **Исходная точка** - узел, принадлежащий четвертому сечению, **С**, **Пробел**, **Положение** – перемещение сечения кнопкой со стрелкой вниз до достижения значения  $Y=0$ , **Пробел**. Произведите **регенерацию 3D модели**, нажав .

Аналогично увеличьте размер пятого сечения, введя коэффициент масштабирования равным 1.5, перенесите его вниз до значения  $Y= +15$  и произведите регенерацию модели (рисунок 9.3 справа).

На рисунке 9.4 представлена последовательность действий с шестым сечением.

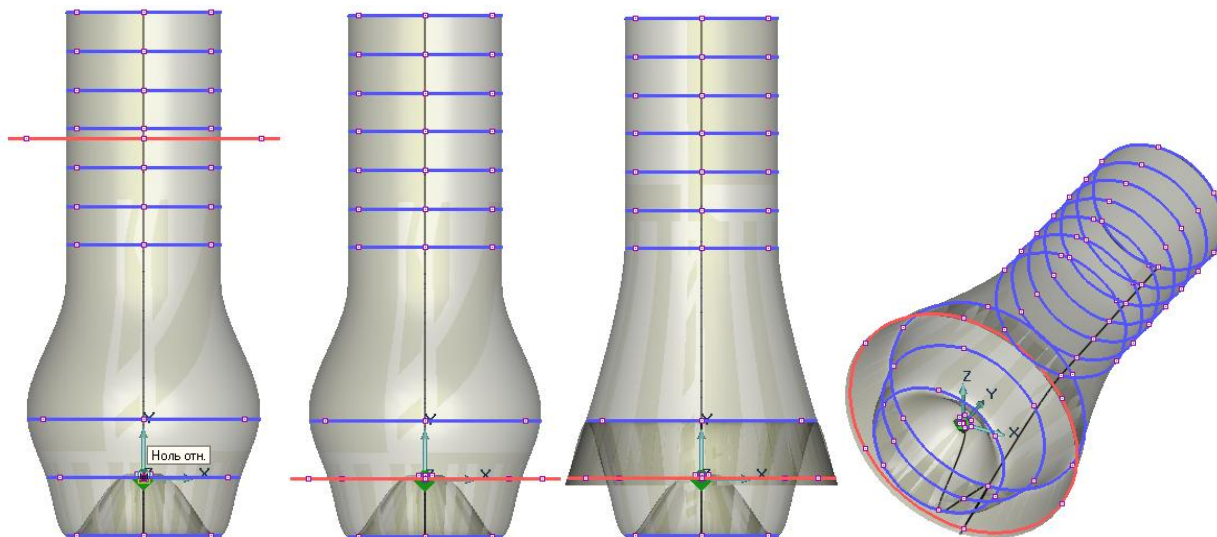


Рисунок 9.4 - Масштабирование и перенос шестого сечения с последующей регенерацией 3D модели

В этом случае коэффициент масштабирования равен 1.75 и высота по  $Y=0$ .

На рисунке 9.5 представлена последовательность действий с седьмым сечением.

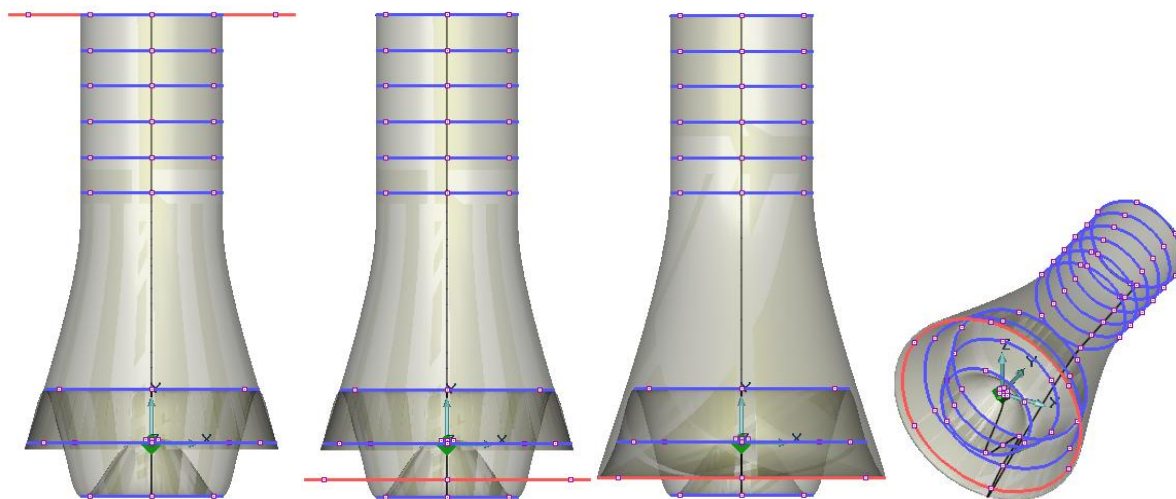


Рисунок 9.5 - Масштабирование и перенос седьмого сечения с последующей регенерацией 3D модели

В этом случае коэффициент масштабирования равен 2.0 и высота по  $Y= -10$ .

Восьмое сечение следует увеличить в 2.25 раза, девятое - в 2.5 раза, десятое - в 2.75 раза, одиннадцатое - в 3.00, двенадцатое - в 3.25 и тринадцатое - в 3.5 раза.

Переносить каждое из сечений следует на указанный уровень по Y (см. рисунок 9.2): 8-е -  $Y = 0$ ; 9-е -  $Y = +10$ ; 10-е -  $Y = 0$ ; 11-е -  $Y = -5$ ; 12-е -  $Y = 0$  и 13-е -  $Y = +5$ .

Для контроля соосности сечений периодически используйте возможность просмотра модели в аксонометрии: **Shift+ЛКМ** + перемещение мыши.

Рисунок 9.6 иллюстрирует работу с оставшимися (с 8 по 13) сечениями.

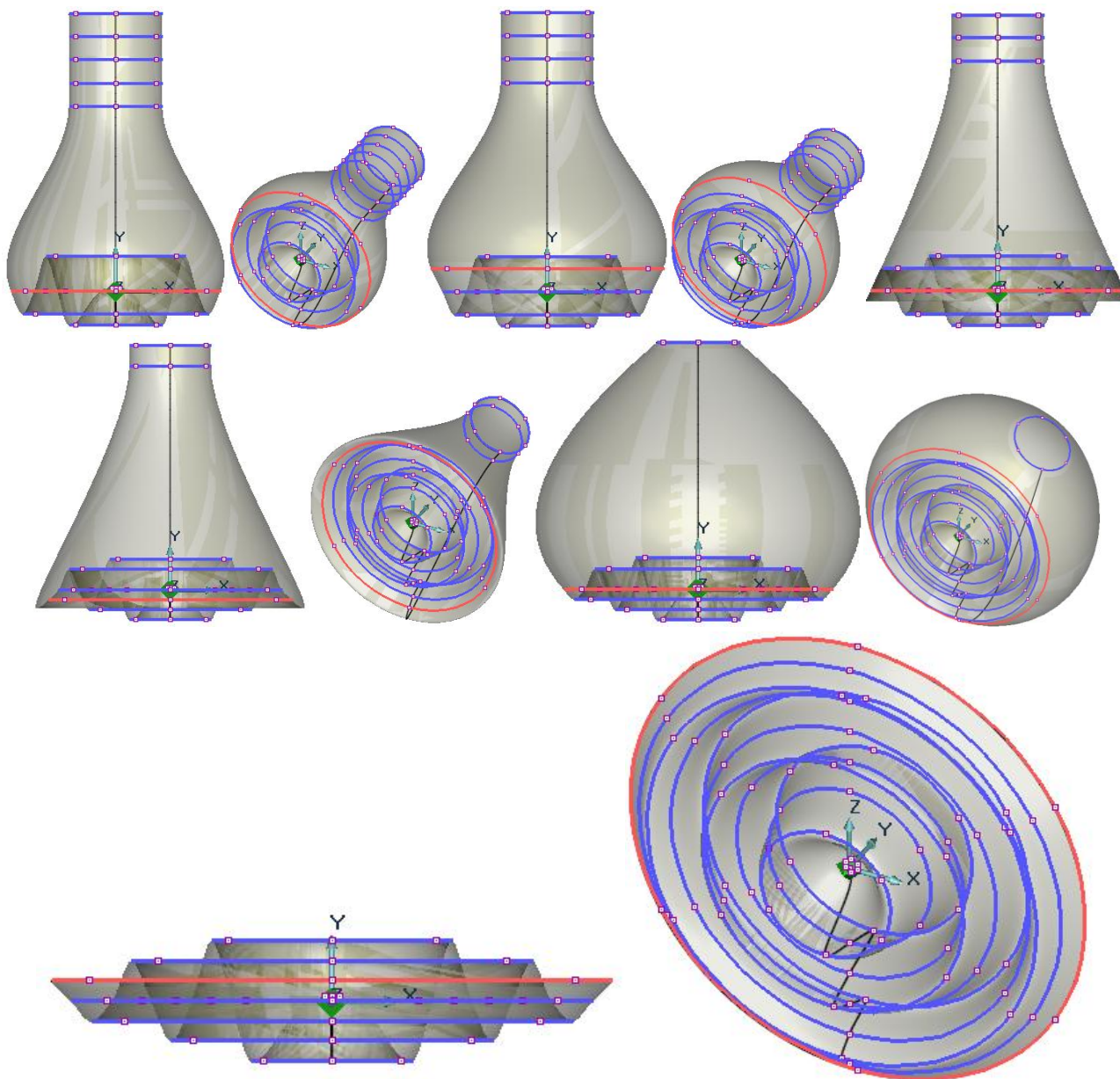



Рисунок 9.6 - Работа с сечениями

Отключите режим **Прозрачность**. Чтобы удалить торцевую поверхность, сохранившуюся от верхнего основания исходного цилиндра нажмите **Удалить грань** , **Удалить грани**, в ответ на запрос **Грани?** - укажите удаляемую грань (рисунок 9.7 слева). На рисунке 9.7 справа показан результат удаления грани. Таким образом мы получили 3D модель незамкнутой поверхности (из объемного тела).

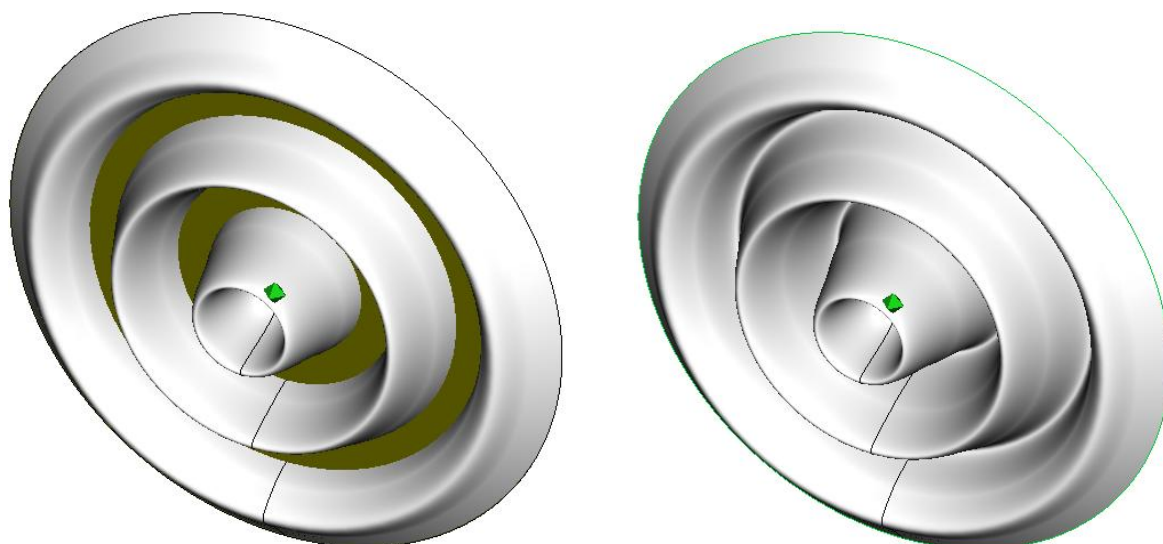


Рисунок 9.7 - Удаление грани

Сохраните 3D модель мембраны в свой архив.

**Задания для упражнений.** Для закрепления навыков работы с сечениями и узлами рекомендуем построить заготовку и оформить модель, примерно так как изображено на рисунке 9.8.

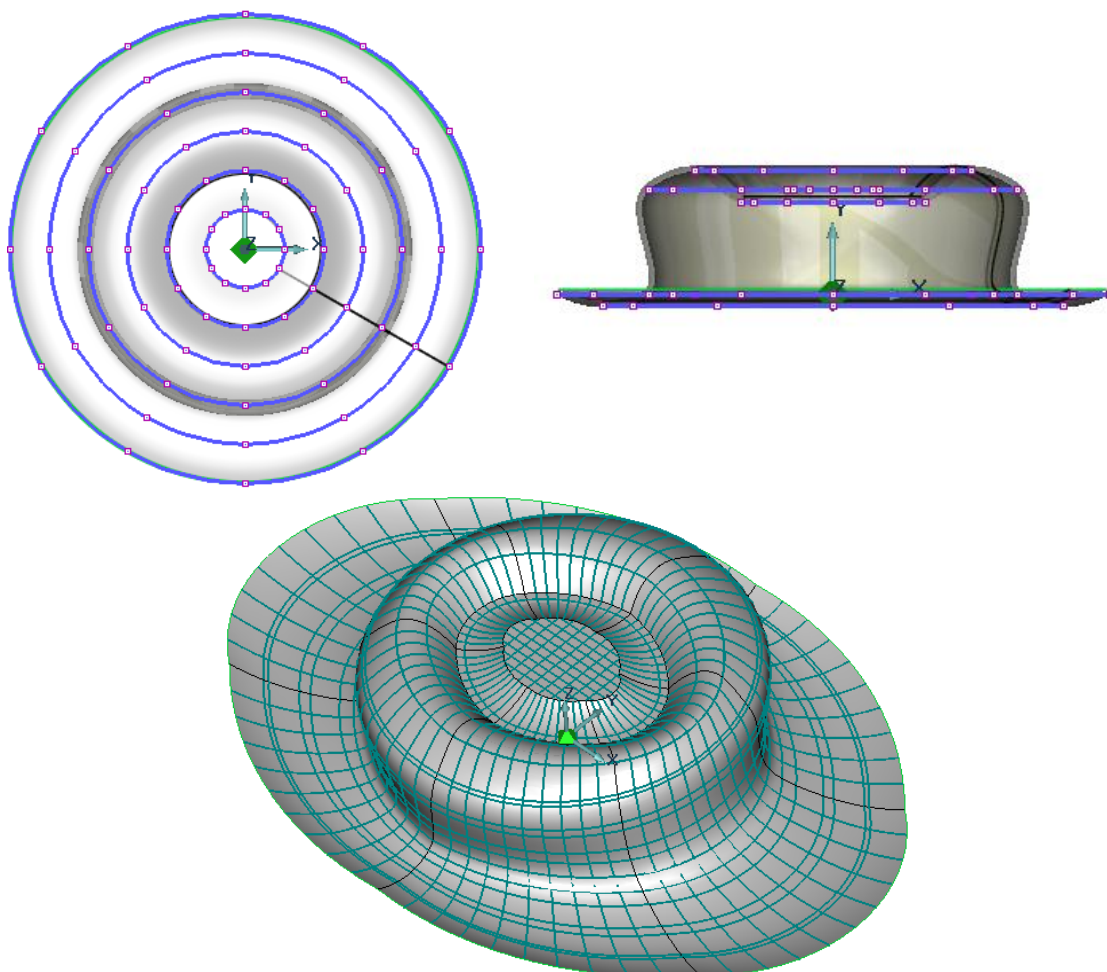


Рисунок 9.8 – Модель «Шляпа»

Список литературы

1. Чемпинский, Л.А. Основы геометрического моделирования в машиностроении. Курс лекций [препринт]. Изд-во Сам. ун-та, Самара, 2017

Учебное издание

*Чемпинский Леонид Андреевич*

**БИБЛИОТЕКА 3D ПРМ БЭФ:  
МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ТЕЛ И ПОВЕРХНОСТЕЙ.  
РЕШЕНИЕ МЕТРИЧЕСКИХ И ПОЗИЦИОННЫХ ЗАДАЧ**

*Практикум*

*В авторской редакции*

Подписано в печать 20.12.2017. Формат 64x80 1/8.

Бумага офсетная. Печ. л. 5,75.

Тираж 25 экз. Заказ .

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»**

(Самарский университет)

443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

