

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

А.Н. УНЯНИН, А.Д. ЕВСТИГНЕЕВ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЙ
АНАЛИЗ С ПОМОЩЬЮ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NX**

Учебное пособие

Ульяновск
УлГУ
2017

УДК 621.9 (075.8)

ББК 34.63я7

У61

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор В. И. Филимонов;

д-р техн. наук, доцент А. Ш. Хусаинов

*Печатается по решению Ученого Совета
инженерно-физического факультета высоких технологий
Ульяновского государственного университета*

Унянин, Александр Николаевич

У 61 Моделирование и инженерный анализ с помощью программного комплекса NX : учебное пособие / А. Н. Унянин, А. Д. Евстигнеев. – Ульяновск : УлГУ, 2017. – 212 с.

ISBN 978-5-9795

Пособие разработано в соответствии с рабочими программами дисциплин «Графические информационные системы» и «Основы CAD-CAE систем в автомобилестроении» для студентов, обучающихся по направлению подготовки специалистов по специальности 23.05.01 – «Наземные транспортно-технологические средства» всех форм обучения. Пособие предназначено для использования при самостоятельной работе и проведении практических и лабораторных занятий.

Изложены основные этапы разработки трехмерных моделей деталей и сборок в модулях NX «Модель» и «Сборка», и расчета численным методом в модуле NX «Расширенная симуляция» напряжений, деформаций и температур в деталях машин.

УДК 621.9 (075.8)

ББК 34.63я7

© Унянин А. Н., Евстигнеев А. Д., 2017

ISBN 978-5-9795

© Оформление. УлГУ, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	.....
1. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ NX	.....
1.1. Общие сведения	.....
1.2. Моделирование корпуса	.....
1.3. Моделирование фланца	.....
2. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ СБОРОК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ NX	.....
2.1. Общие сведения	.....
2.2. Моделирование корпуса в сборе	.....
3. ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NX ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ	.....
3.1. Общие сведения	.....
3.2. Создание идеализированной геометрической модели	..
3.3. Создание конечно-элементной модели	.....
3.4. Создание расчетной модели	.....
3.5. Численное решение задачи и анализ результатов	.....
4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NX	...
4.1. Моделирование формы вала в продольном сечении	
4.1.1. Постановка задачи	.....
4.1.2. Создание САД-модели вала и новых файлов модели	..
4.1.3. Создание конечно-элементной модели	.....
4.1.4. Задание нагрузок и граничных условий	.....
4.1.5. Выполнение статического анализа	.....
4.1.6. Просмотр результатов статического анализа	.....
4.2. Моделирование формы и оценка прочности ступенчатого вала, установленного в подшипниках	.....

4.2.1. Постановка задачи	
4.2.2. Создание САД-модели вала и новых файлов модели	
4.2.3. Создание конечно-элементной модели	
4.2.4. Задание нагрузок и граничных условий	
4.2.5. Выполнение статического анализа	
4.2.6. Просмотр результатов статического анализа	
4.3. Моделирование формы и оценка прочности вилки	
4.3.1. Постановка задачи	
4.3.2. Создание САД-модели вилки и новых файлов модели	
4.3.3. Создание конечно-элементной модели	
4.3.4. Задание нагрузок и граничных условий	
4.3.5. Выполнение статического анализа	
4.3.6. Просмотр результатов статического анализа	
4.4. Анализ устойчивости пластины	
4.4.1. Постановка задачи	
4.4.2. Создание САД-модели пластины и новых файлов модели	
4.4.3. Создание конечно-элементной модели	
4.4.4. Задание нагрузок и граничных условий	
4.4.5. Запуск решения.	
4.4.6. Просмотр результатов.	
4.5. Моделирование температурного поля цилиндрического стержня	
4.5.1. Постановка задачи	
4.5.2. Создание САД-модели стержня и новых файлов модели	
4.5.3. Создание конечно-элементной модели	
4.5.4. Задание нагрузок и граничных условий	
4.5.5. Расчет температурного поля	
4.5.6. Просмотр результатов теплового анализа	

4.5.7. Решение нестационарной задачи	
4.6. Моделирование температурного поля пластины в процессе охлаждения	
4.6.1. Постановка задачи	
4.6.2. Создание САD-модели пластины и новых файлов модели	
4.6.3. Создание конечно-элементной модели	
4.6.4. Задание нагрузок и граничных условий	
4.6.5. Расчет температурного поля	
4.6.6. Просмотр и анализ результатов расчета температурного поля	
4.7. Моделирование температурной деформации резца в процессе точения	
4.7.1. Постановка задачи	
4.7.2. Моделирование температуры резца	
4.7.3. Моделирование температурной деформации резца . . .	
Заключение	
Библиографический список	
Вопросы для самопроверки	
Основные использованные понятия (гlossарий)	

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное машиностроение развивается в направлении полного перевода на компьютерные технологии всех этапов жизненного цикла изделий. Чтобы автоматизировать и связать задачи проектирования и производства, используются технологии автоматизированного проектирования (CAD), автоматизированного производства (CAM) и автоматизированной разработки или конструирования (CAE).

Основная функция CAD – определение геометрии изделия, которая во многом определяет все последующие этапы его жизненного цикла. Геометрия, определенная в этих системах, в дальнейшем используется в системах CAM и CAE. Это сокращает время проектирования и количество возможных ошибок, поскольку нет необходимости определять геометрию каждый раз при разработке управляющих программ и расчетов.

Одной из самых популярных интерактивных систем, предназначенной для автоматизированного проектирования, изготовления и расчетов изделий является программный пакет NX, возможности которого рассмотрены в настоящем учебном пособии.

Конструкторская подготовка производства включает не только само моделирование объекта, но и выполнение инженерного анализа, в том числе различных инженерных расчетов, определяющих качество изделий. При функционировании машин действуют два негативных фактора: во-первых, под действием сил деформируются детали; во-вторых, под влиянием генерируемой теплоты детали нагреваются, изменяя при этом форму и размеры и физико-механические свойства материалов их поверхностных слоев.

Аналитические методы позволяют рассчитать упругие деформации и напряжения в деталях, имеющих простую геометрическую форму, например, цилиндра. Аналитическое решение затрудняется,

если детали имеют сложную форму, например форму ступенчатого вала, имеющего конические и радиусные поверхности и отверстия. Подобные задачи эффективно решают с использованием численных методов, в частности, метода конечных элементов (МКЭ) [1 – 5, 7, 8]. Одним из мощных программных продуктов, предназначенных для этой цели, является модуль **«Расширенная симуляция»** программного комплекса NX [2 – 5].

Целью настоящего учебного пособия является привитие студентам умений и навыков решения практических задач, возникающих при проектировании и исследовании изделий с помощью программного комплекса NX.

1. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ NX

1.1. Общие сведения

NX является системой трехмерного моделирования, в которой инженер может создавать изделия любой степени сложности [4]. В этом пакете используется концепция ассоциативности, которая позволяет связать между собой отдельные части информации об изделии для автоматизации процесса разработки и изготовления продукции [4]. Модели, созданные в NX, являются полностью параметрическими, поэтому имеется возможность управлять всеми размерами изделия. Кроме этого, с геометрическими объектами можно связать и любую другую информацию, которая описывает данное изделие. Эта информация заносится в атрибуты модели [4].

Все инструменты NX сгруппированы в приложениях (модулях), в которых можно выполнять различные действия: создание геометрии детали или сборки, чертежа, расчет модели и др. Все модели, созданные в NX, могут использоваться в любом его приложении [4].

Базовый модуль NX открывается при первом запуске системы и является основным. В этом модуле не производят геометрические построения или операции над моделями. Его главной функцией является обеспечение связи между всеми модулями NX, а также просмотр существующих моделей [4].

Для разработки трехмерных моделей деталей с целью их дальнейшего анализа, оптимизации конструкции, создания сборочных единиц и др. используется модуль «**Моделирование**». Он обладает широким набором инструментальных средств, при помощи которых можно построить модели, имеющие геометрию любой сложности.

Модуль позволяет выполнить такие основные функции, как создание базовых и ассоциативных кривых, построение эскизов и твердотельных примитивов. В модуле осуществляются базовые операции над твердыми телами, позволяющие строить тела вращения, вытягивать закупаемые тела, выполнять булевы операции, работать с листовым металлом, моделировать поверхности и др. [4].

1.2. Моделирование корпуса

Основные особенности создания 3D моделей деталей в САПР Siemens NX рассмотрены ниже на примере моделирования корпуса (рис. 1.1).

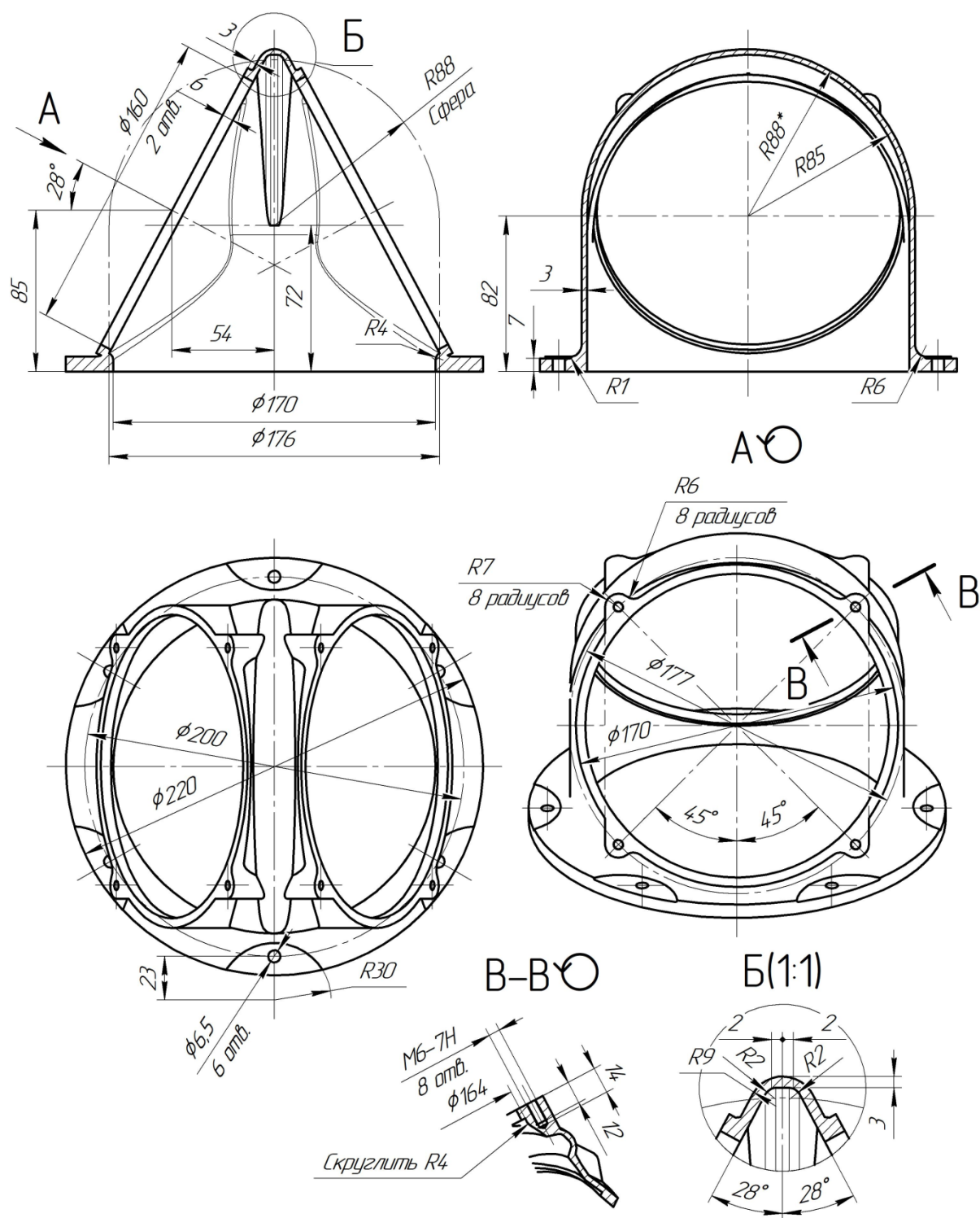


Рис. 1.1. Эскиз корпуса

После запуска САПР Siemens NX создают новый файл 3D модели детали. Для этого нажимают на панели **Файл** → **Новый** → **Модель** → **ОК** (рис. 1.2).

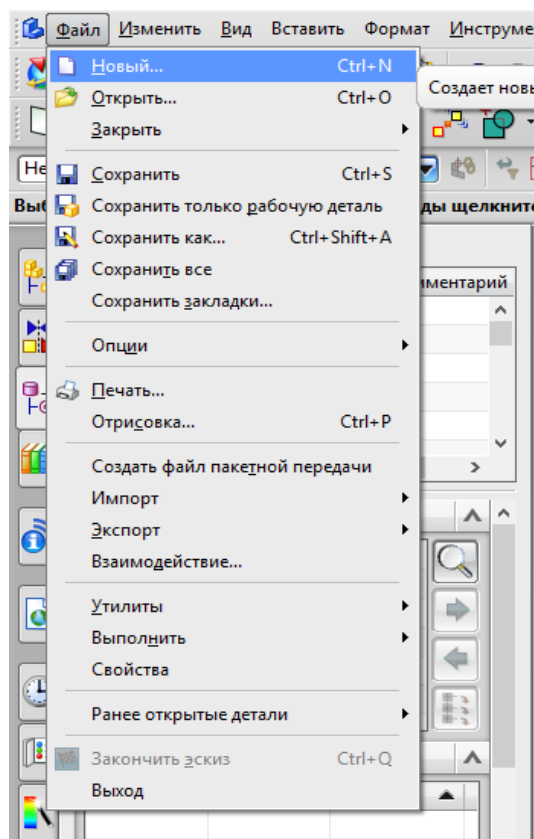


Рис. 1.2. Создание нового файла модели в Siemens NX

Создание 3D модели корпуса традиционно начинается с построения эскиза. Чтобы войти в среду построения эскиза, выбирают на панели одну из кривых эскиза (дугу, отрезок, окружность и т.д.) (рис. 1.3). Если кривые эскиза на панели отсутствуют, то их находят через падающее меню **Вставить**. Выбирают плоскость построения эскиза из базовой системы координат (в рассматриваемом примере выбрана плоскость XZ) (рис. 1.4).

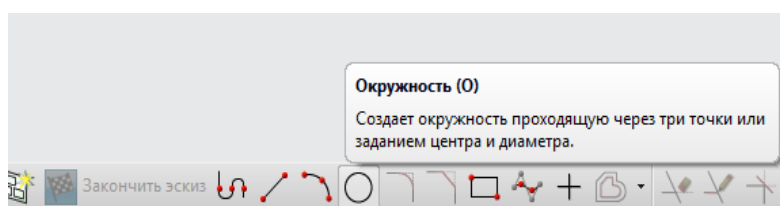


Рис. 1.3. Включение режима построения эскиза

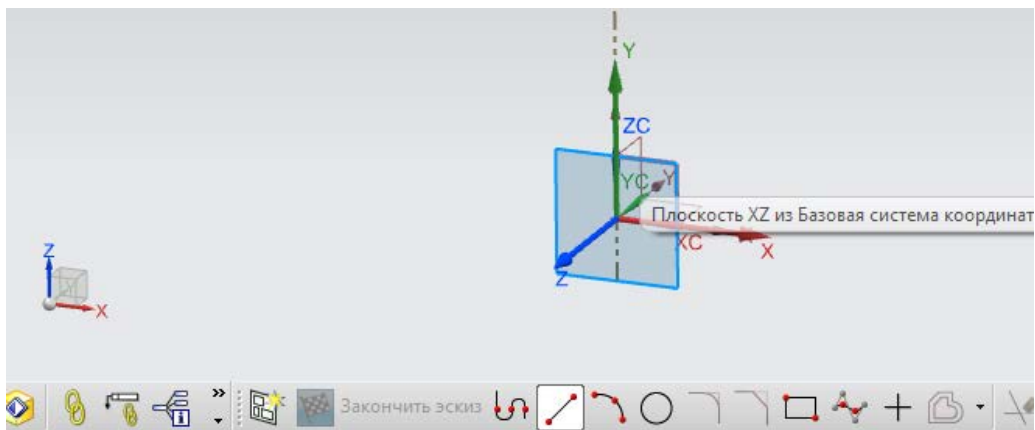


Рис. 1.4. Выбор плоскости построения эскиза

В выбранной плоскости с помощью кривых создают эскиз (рис. 1.5) для последующего получения 3D модели путем вращения эскиза вокруг оси симметрии. Следует отметить, что эскиз должен быть однозначным, без дублирования линий и разрывов. Для этого некоторые кривые эскиза следует превратить во вспомогательные (пунктирные линии на рис. 1.5). Данная операция выполняется путем наведения курсора на кривую, которую следует изменить, и запуска команды **Преобразовать во вспомогательный** в окне, появившемся при нажатии на правую кнопку мыши.

После построения эскиза нажимают кнопку **Закончить эскиз** (рис. 1.6). После выполнения команды **Закончить эскиз** система перейдет в режим работы с 3D геометрией. При этом эскиз примет вид окончательно готового (рис. 1.7).

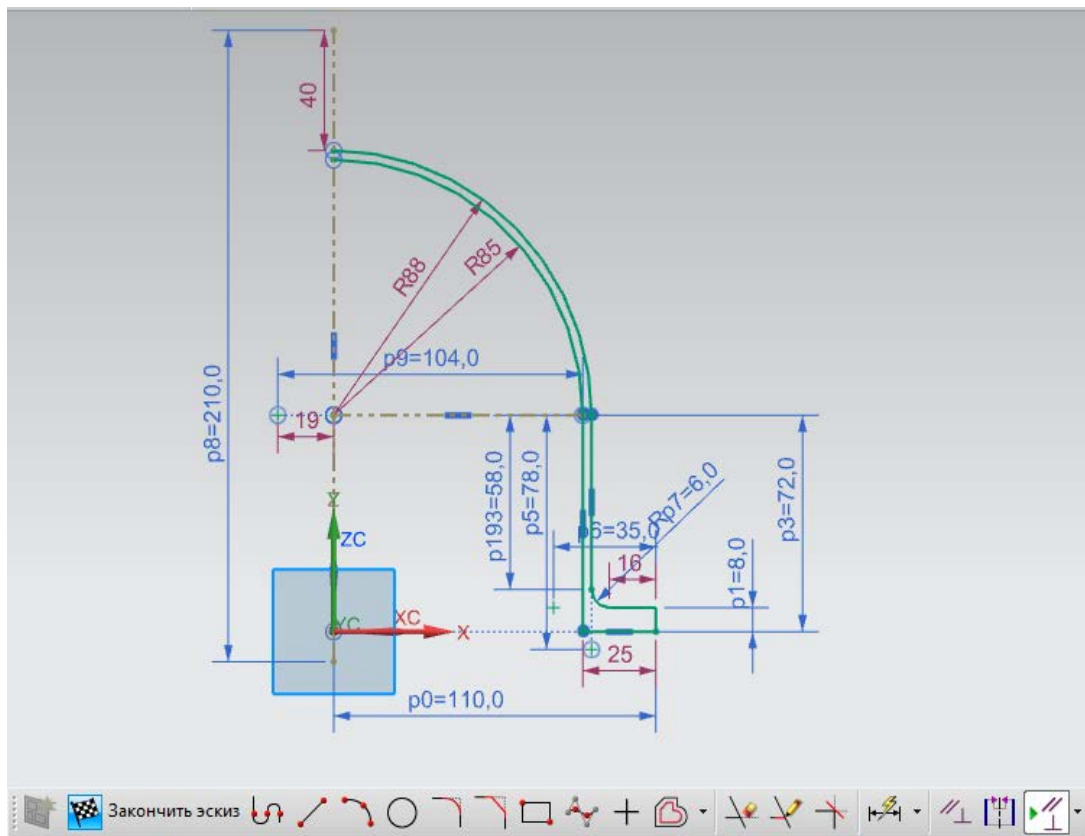


Рис. 1.5. Создание эскиза детали

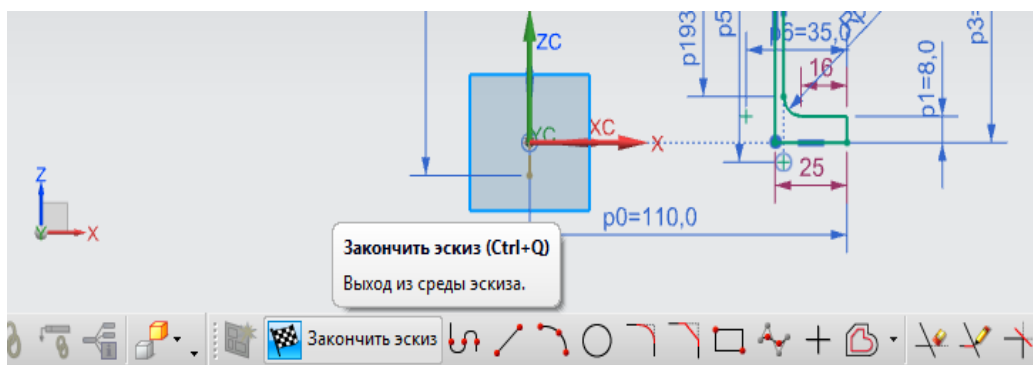


Рис. 1.6. Завершение построения эскиза

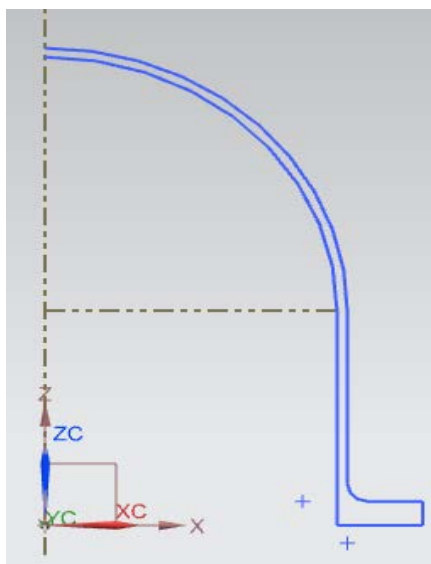


Рис. 1.7. Завершенный эскиз

Для создания 3D модели по готовому эскизу выбирают команду **Вращение** (рис. 1.8). Появляется диалоговое окно этой команды для настройки параметров (рис. 1.9), в котором красными звездочками отмечены обязательные поля для задания данных.

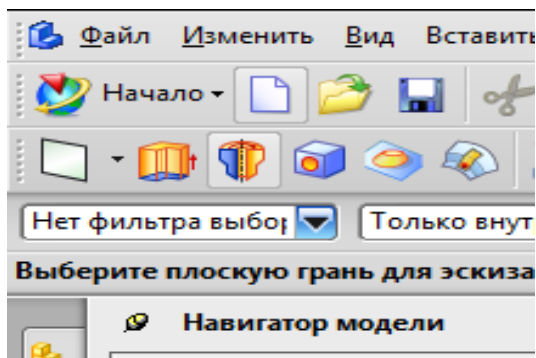


Рис. 1.8. Команда «Вращение»

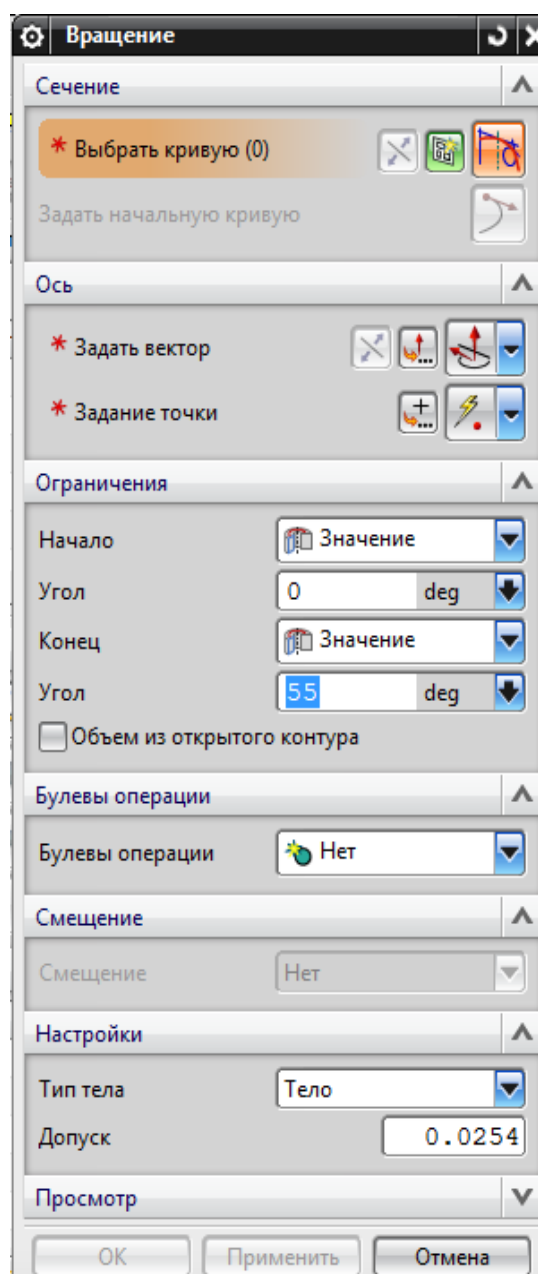
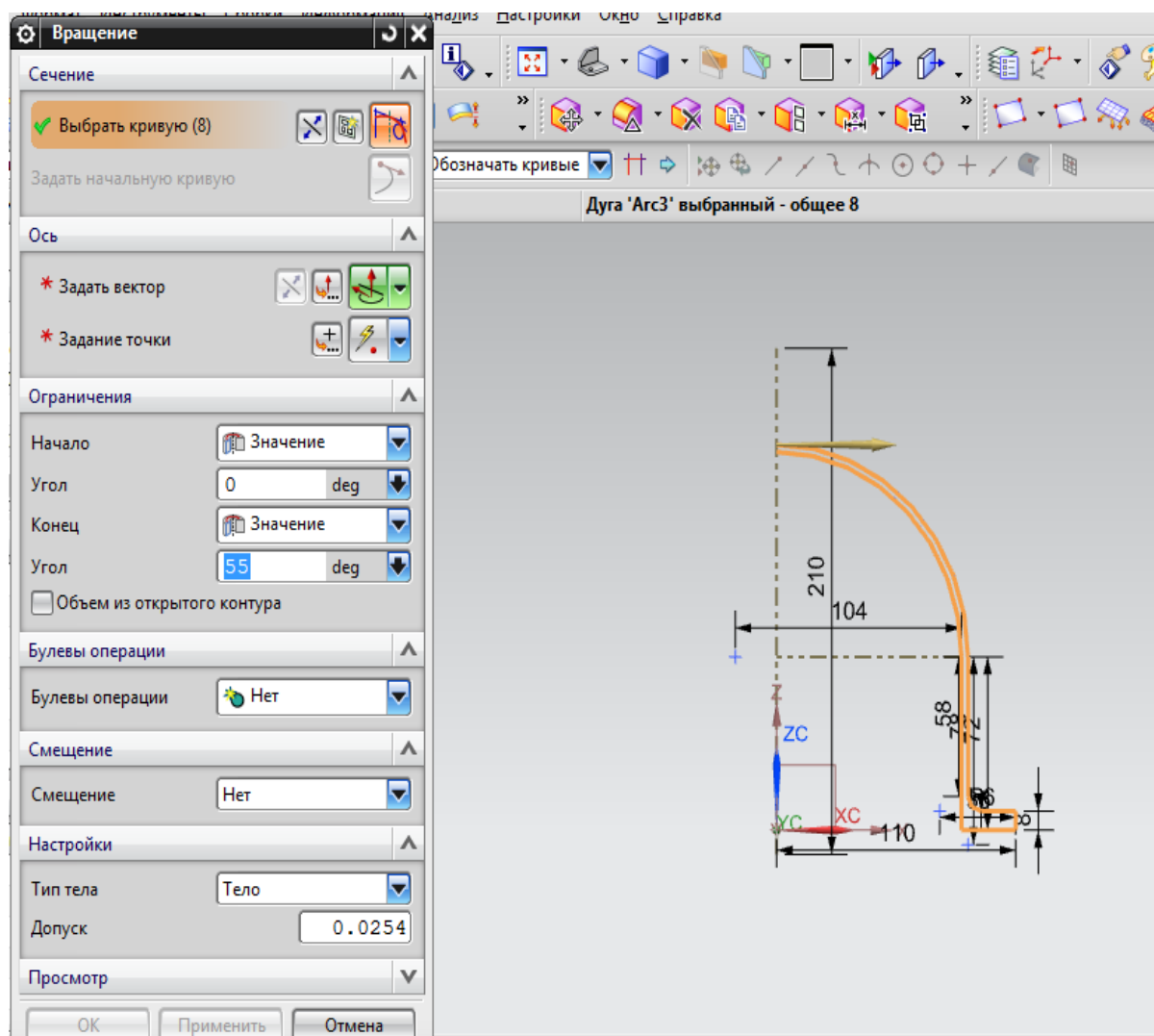


Рис. 1.9. Настройка параметров команды «Вращение»

Нажав курсором мыши на построенный эскиз, выбирают кривую; после этого в диалоговом окне **Вращение** рядом с параметром **Выбрать кривую** вместо красной звездочки появляется зеленая галочка (рис. 1.10). Для задания вектора (оси, вокруг которой будет вращаться эскиз) в диалоговом окне выбирают строчку **Задать вектор**, после чего выбирают вертикальную вспомогательную линию эскиза (рис. 1.11).



**Рис. 1.10. Выбор кривой при построении 3D модели
в диалоговом меню «Вращение»**

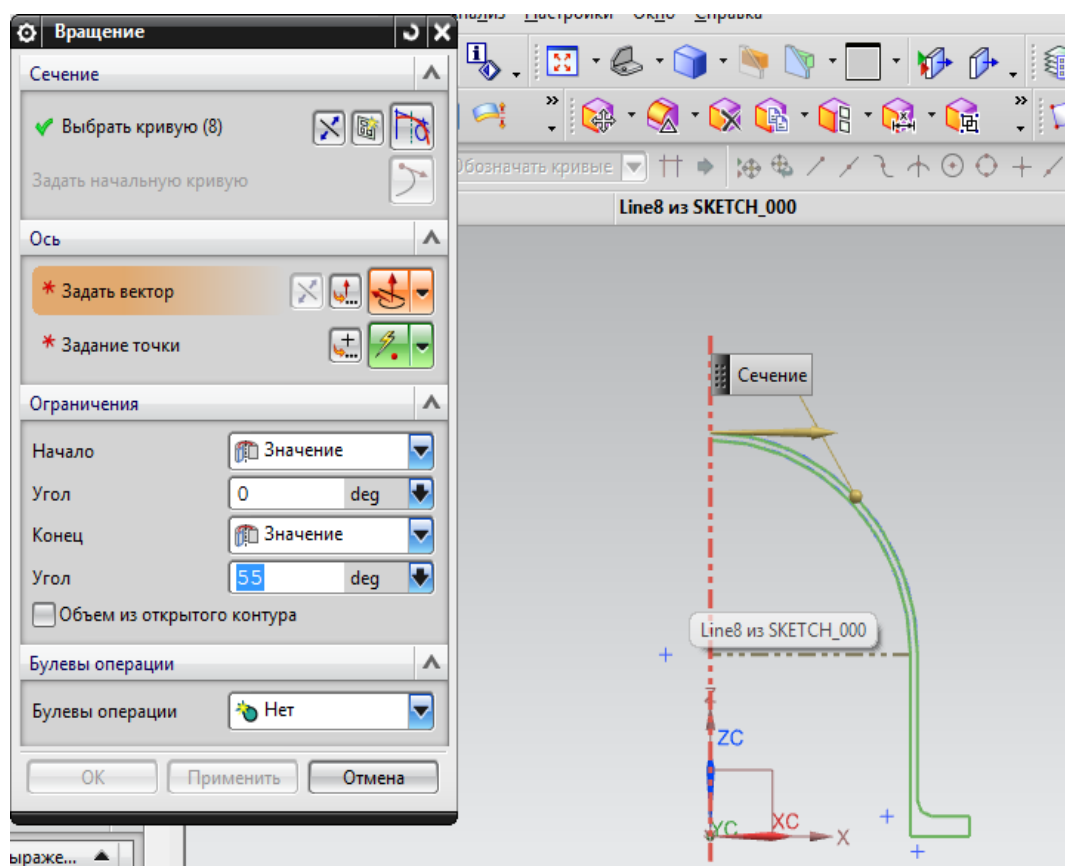


Рис. 1.11. Задание вектора вращения эскиза

Как и в предыдущем случае, факт задания параметра подтверждается появлением зеленой галочки, на экране отображается фантом модели и активируется кнопка **ОК** диалогового меню (рис. 1.12). Следует обратить внимание на значения углов в группе **Ограничения**. В нашем случае необходимо осуществить вращение эскиза на 360° , поэтому должен быть задан соответствующий угол.

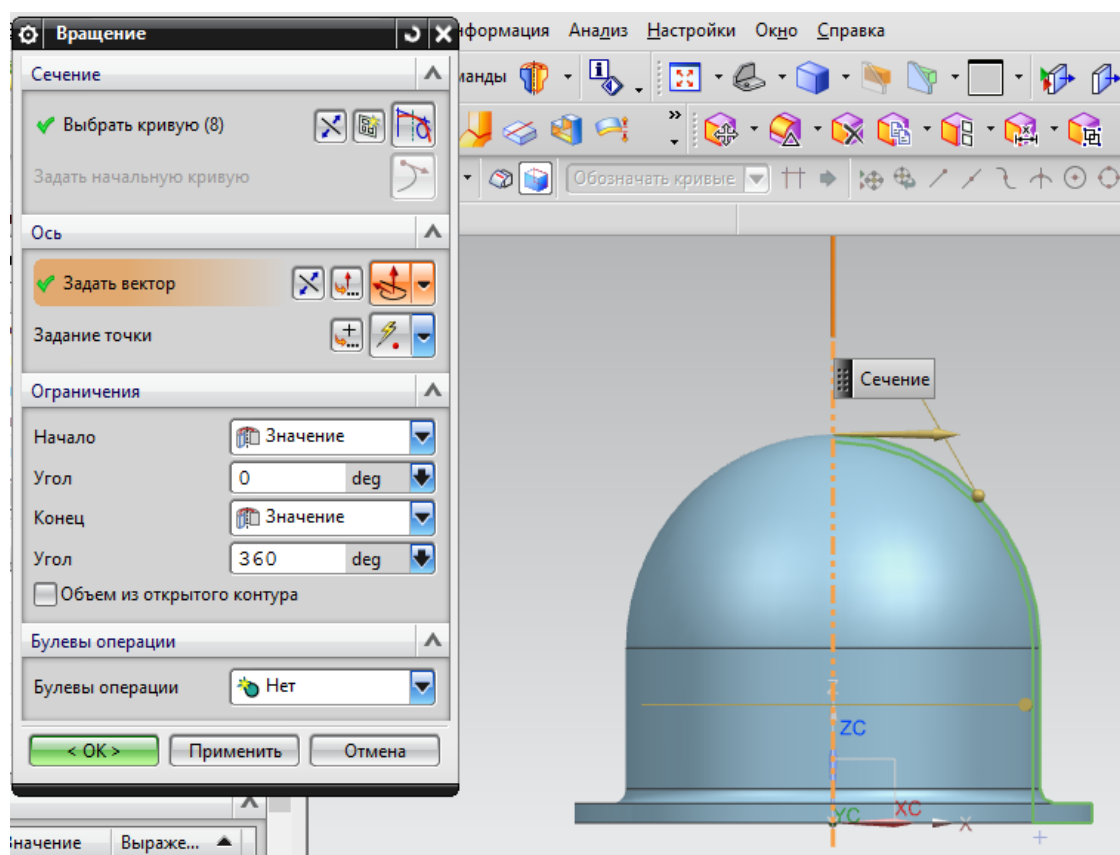


Рис. 1.12. Фантом модели корпуса

Для завершения операции вращения выбирают команду **ОК**, после чего фантом преобразуется в твердотельную модель, а диалоговое меню **Вращение** автоматически закрывается.

Далее на отмеченной красным цветом плоскости (рис. 1.13, а) создают эскиз, действуя аналогично вышеприведенной последовательности. Готовый эскиз представлен на рис. 1.13, б (на рисунке для наглядности эскиз обозначен красным цветом).

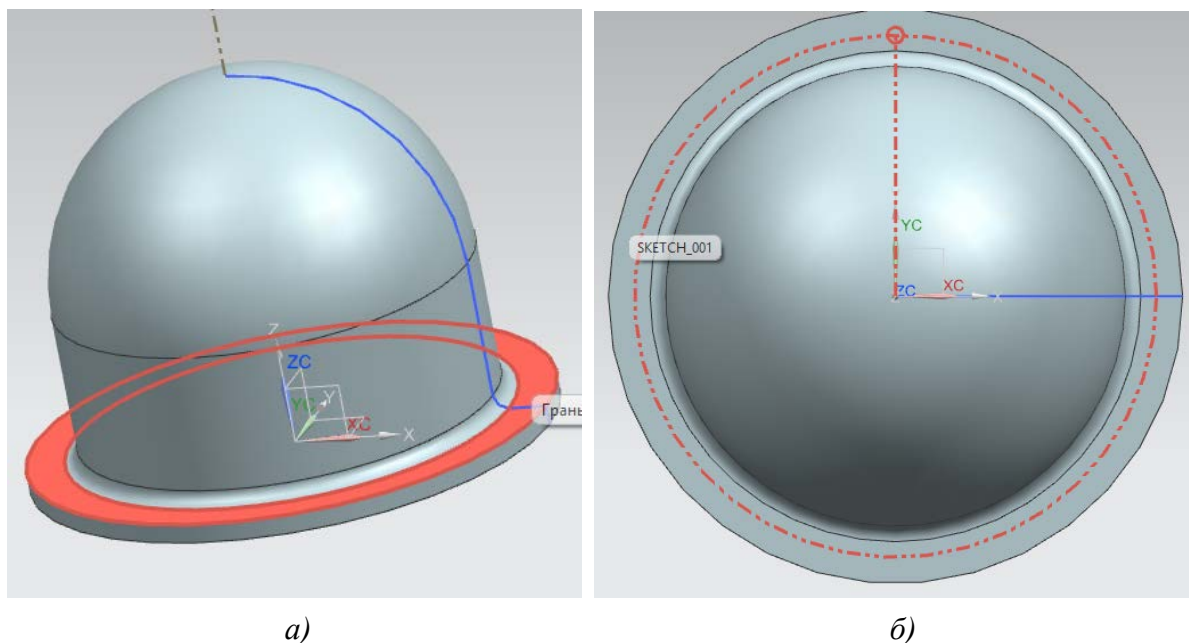


Рис. 1.13. Построение эскиза отверстия: *а* – выбор плоскости построения эскиза;
б – построенный эскиз

Для создания отверстия выбирают команду **Вытягивание** (рис. 1.14) и задают в появившемся диалоговом окне соответствующие параметры. Особое внимание следует обратить на группу **Булевы операции**, где необходимо установить **Вычитание**, а также на команду **Сменить направление** при задании вектора построения (рис. 1.15), с помощью которой можно изменить направление вычитания элемента.

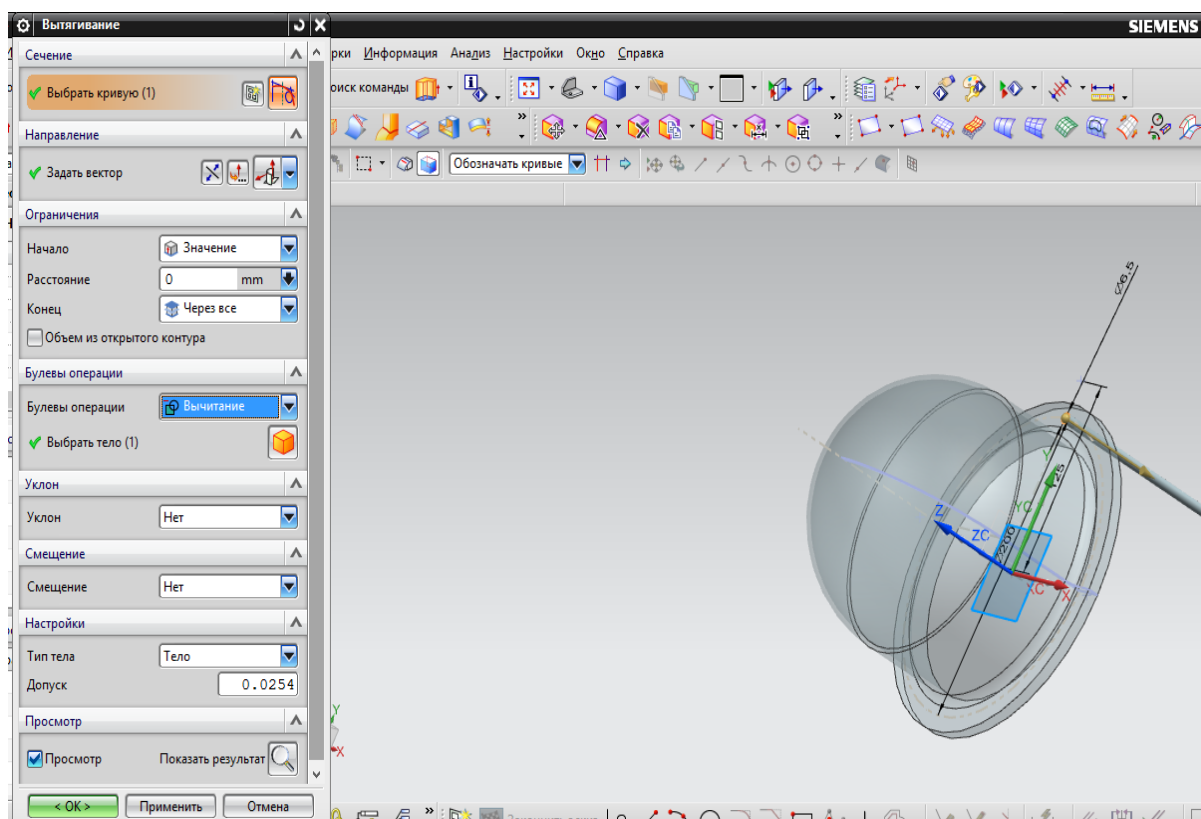


Рис. 1.14. Построение отверстия

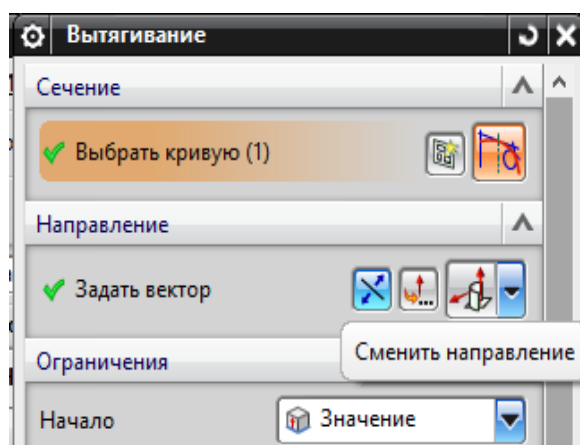


Рис. 1.15. Команда «Сменить направление»

Остальные отверстия во фланцевой части корпуса строятся с использованием команды **Массив элементов** (рис. 1.16). Выбирают построенное отверстие (на рис. 1.17 отмечено оранжевым цветом) и задают вектор (отмечен аналогичным цветом на рис. 1.18). При этом в разделе **Компоновка** следует выбрать опцию **Круговой**. После под-

тверждения выполнения операции посредством нажатия кнопки **ОК** получают 6 отверстий (рис. 1.19).

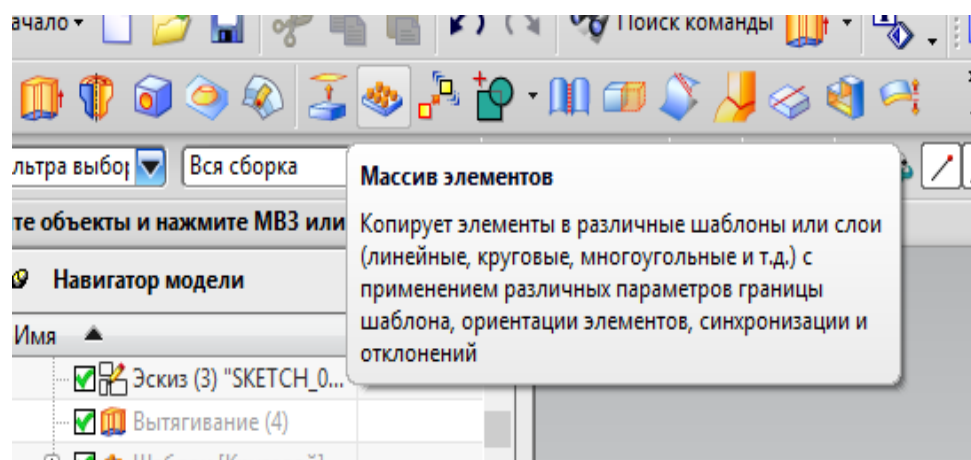


Рис. 1.16. Команда «Массив элементов»

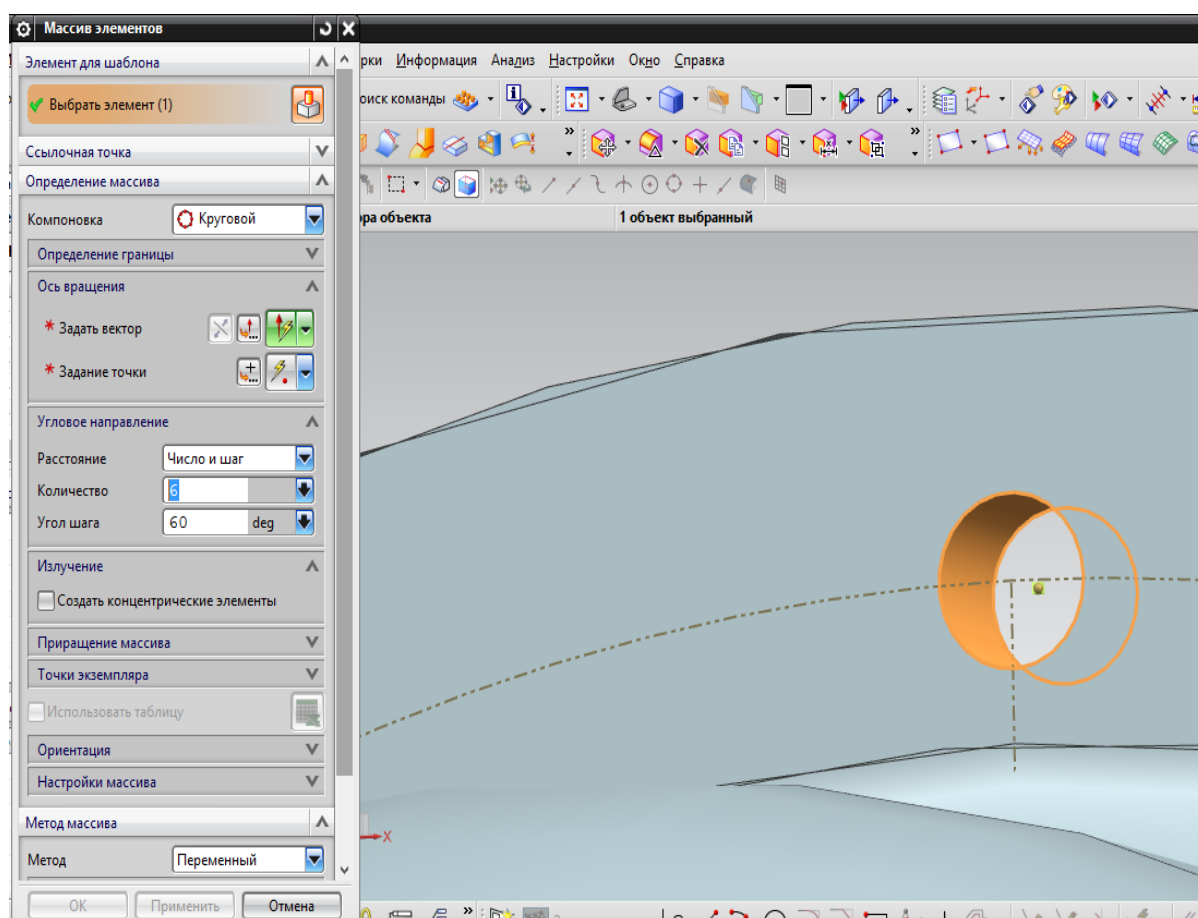


Рис. 1.17. Выбор элемента (отверстия) для построения кругового массива

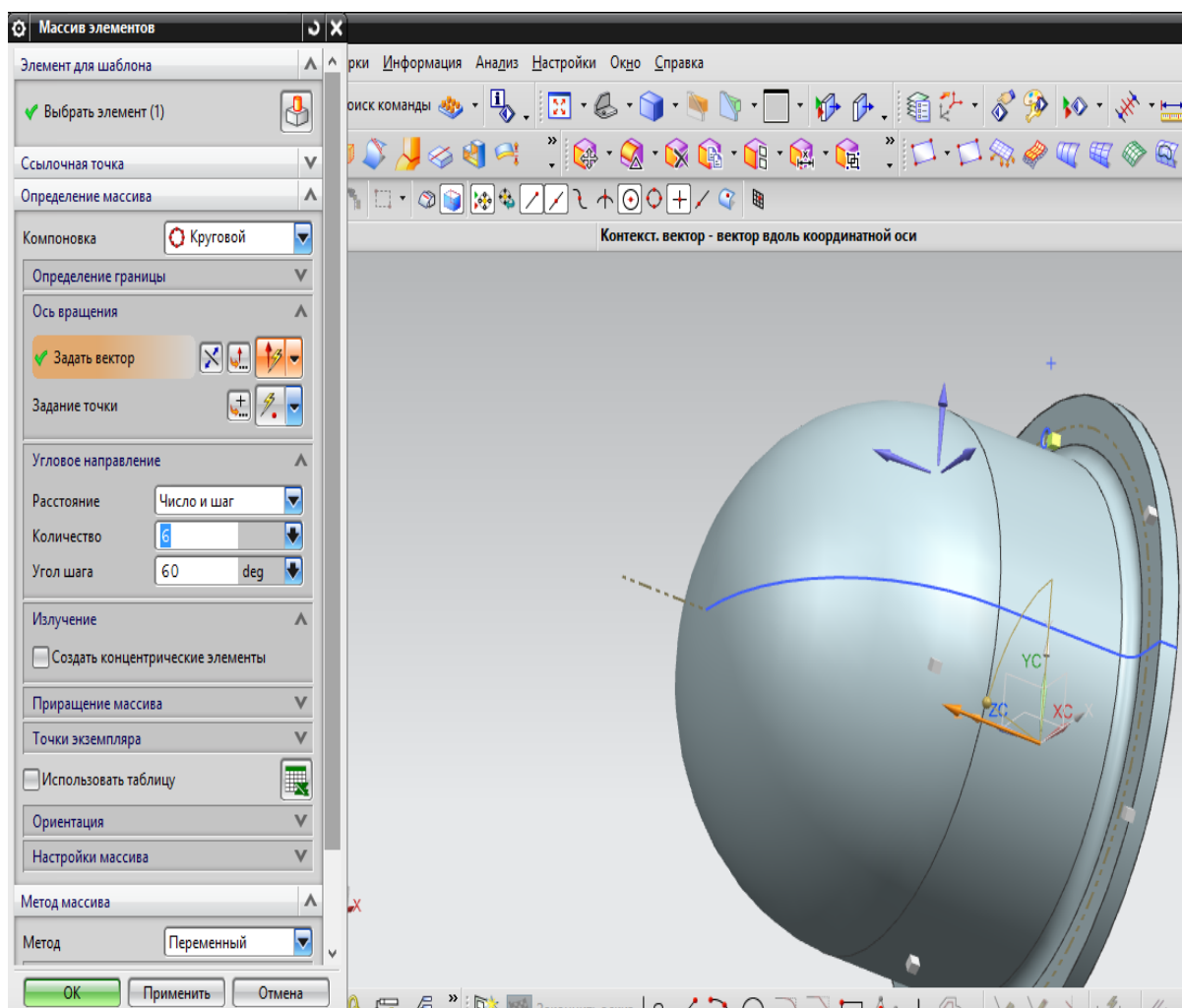


Рис. 1.18. Выбор вектора для построения кругового массива

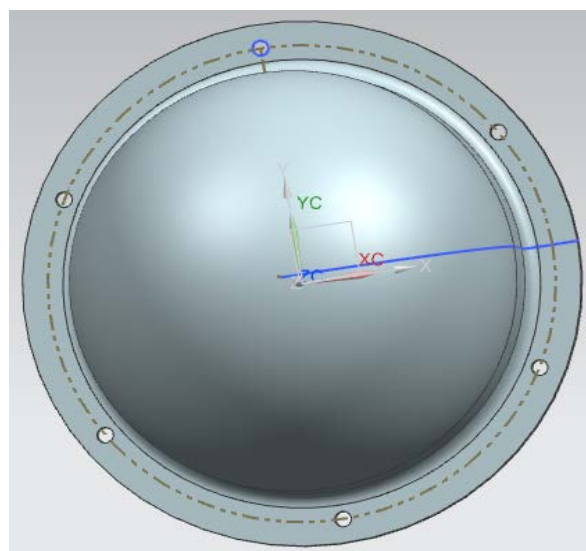


Рис. 1.19. 3D модель корпуса с построенными отверстиями

Для построения выкружек создается новый эскиз, в той же плоскости, что и предыдущий (на рис. 1.20 отмечен красным цветом).

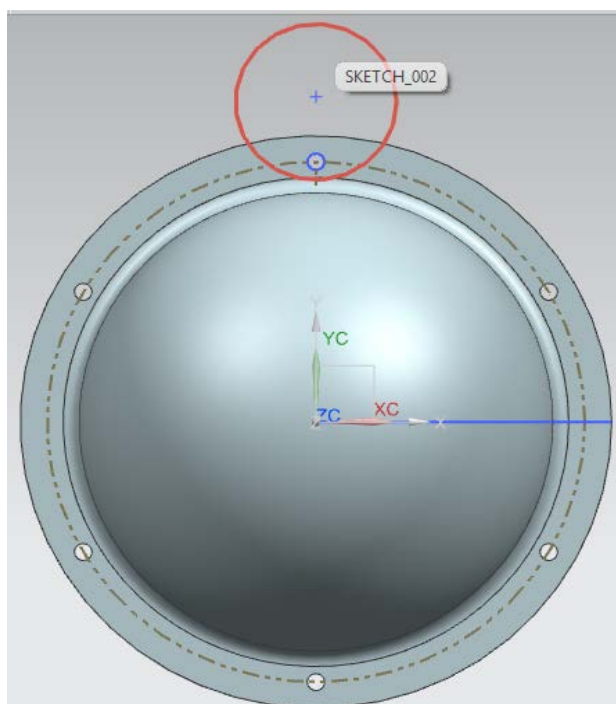


Рис. 1.20. Построение эскиза выкружки

Выполняют команду **Вытягивание**, выбирают последний эскиз, задают вектор и нужные параметры создаваемого элемента, нажимают кнопку **ОК**. Затем выполняют команду **Массив элементов**, осуществляют настройку и в результате получают 6 элементов последнего вытягивания. Результат построения представлен на рис. 1.21.

На построенных выкружках скругляют ребра, используя команду **Скругление ребра** (рис. 1.22). Выбирают 6 рёбер, в диалоговом окне задают радиус скругления 1 мм и нажимают **ОК**. Результат выполнения команды представлен на рис. 1.23.

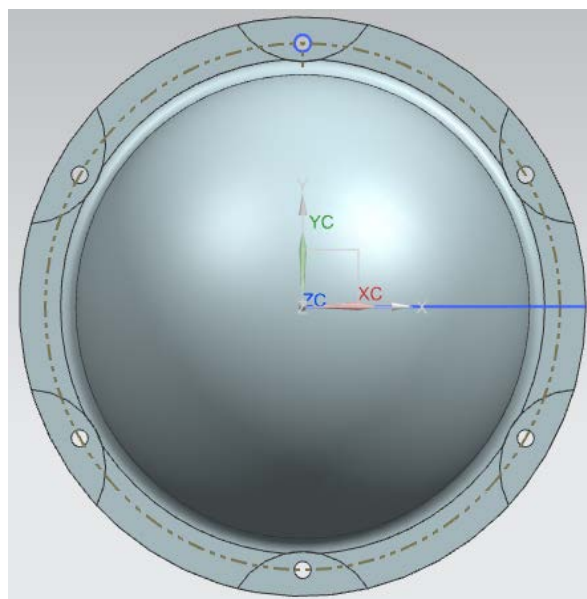


Рис. 1.21. 3D модель корпуса с построенными выкружками

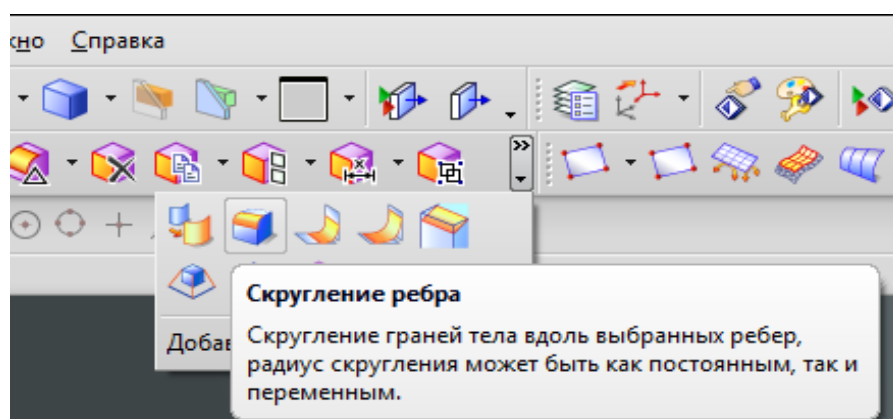


Рис. 1.22. Команда «Скругление ребра»

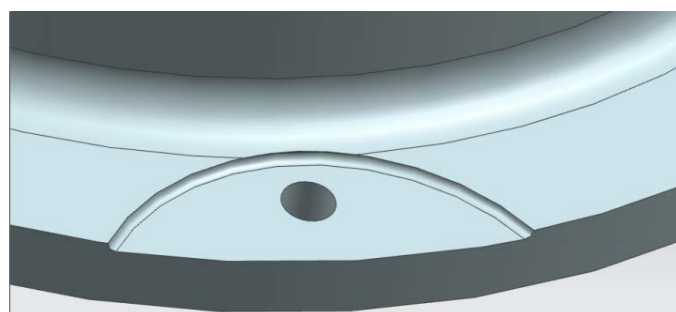


Рис. 1.23. 3D модель корпуса с выполненными скруглениями

На следующем этапе создания модели корпуса выполняется построение наклонных окон. Для этого сначала создаются наклонные вспомогательные плоскости, на которых в дальнейшем выполняются эскизы и строятся окна.

Для создания вспомогательной плоскости, расположенной на определенном расстоянии от плоскости YZ , используется команда **Координатная плоскость** (рис. 1.24). В качестве плоского объекта выбирается плоскость YZ и на расстоянии 54 мм от неё строится новая плоскость (площадь отображаемой части плоскости можно изменять с помощью точек на границе создаваемой плоскости) (рис. 1.25). Аналогично строят плоскость с противоположной от плоскости YZ стороны (рис. 1.26).

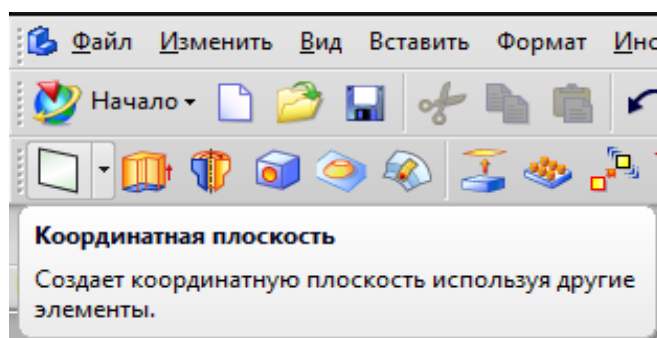


Рис. 1.24. Команда «Координатная плоскость»

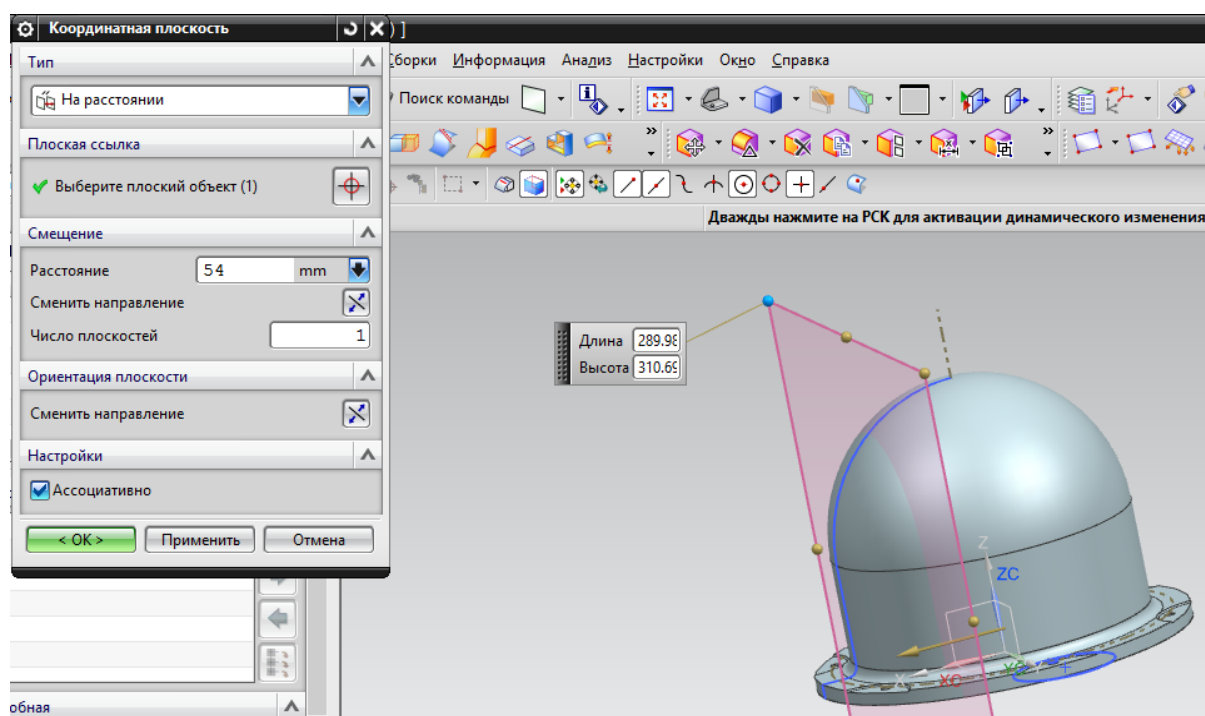


Рис. 1.25. Построение параллельной плоскости

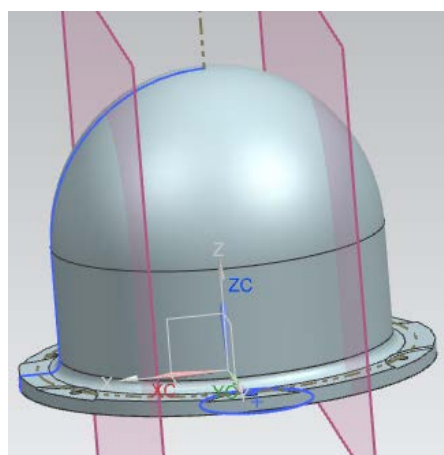


Рис. 1.26. Построение второй параллельной плоскости

Выполняют построение прямой произвольной длины на расстоянии 85 мм от основания корпуса на одной из вспомогательных плоскостей и преобразуют ее во вспомогательную (рис. 1.27). Аналогичные построения выполняются на второй плоскости. Данные эскизы будут служить в качестве линейных объектов при дальнейших построениях.

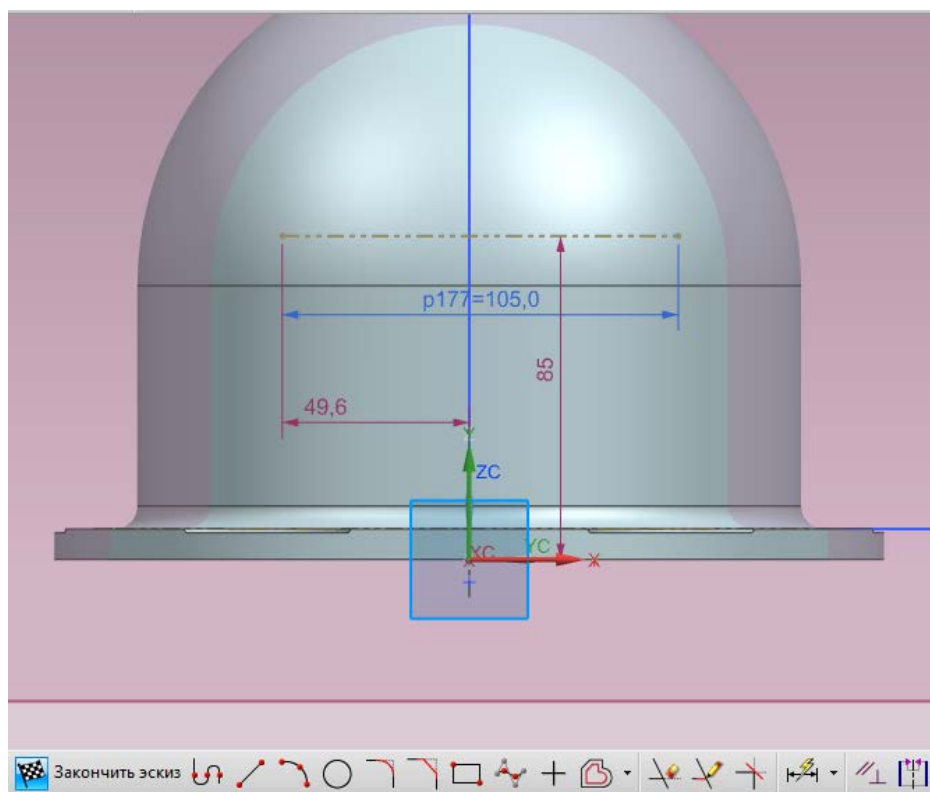


Рис. 1.27. Построение вспомогательной прямой

Затем поочерёдно строятся плоскости, расположенные под углом к ранее построенным плоскостям. Для этого в группе **Тип** диалогового окна **Координатная плоскость** выбирают опцию **Под углом**, в качестве плоского объекта выбирают плоскость, относительно которой строится новая плоскость. Затем в качестве линейного объекта выбирают ранее созданную вспомогательную прямую (на рисунке отмечена оранжевым цветом), выставляют значение угла 28° или -28° (в зависимости от того, с какой стороны от плоскости YZ строится новая плоскость), нажимают **ОК** (рис. 1.28).

Аналогично строится вторая наклонная плоскость. Результат выполнения операции представлен на рис. 1.29.

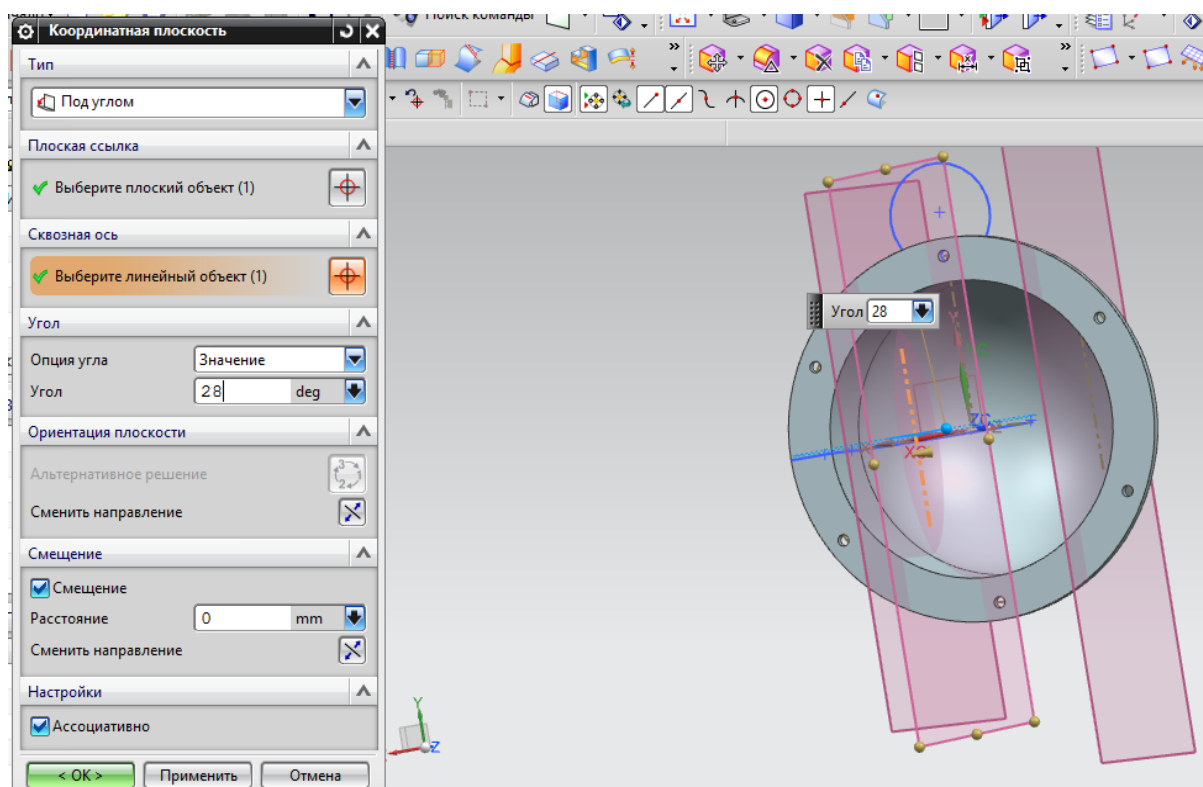


Рис. 1.28. Построение наклонной плоскости

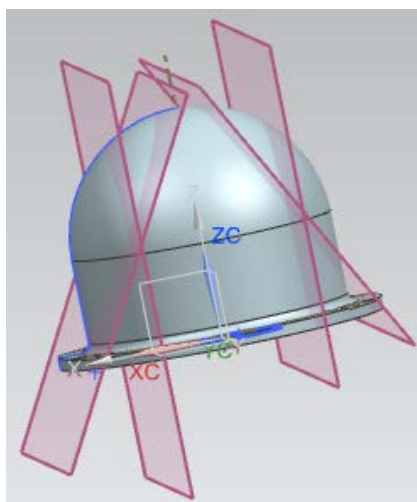
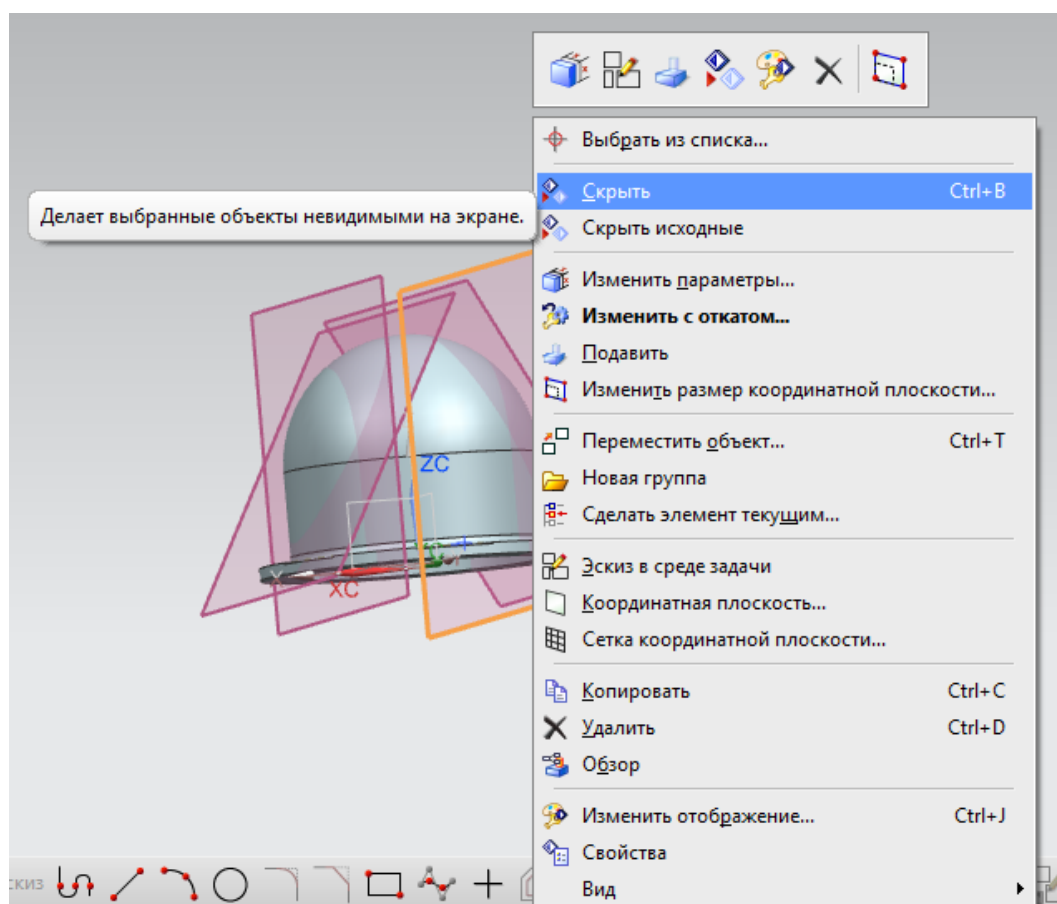


Рис. 1.29. Результат построения двух наклонных плоскостей

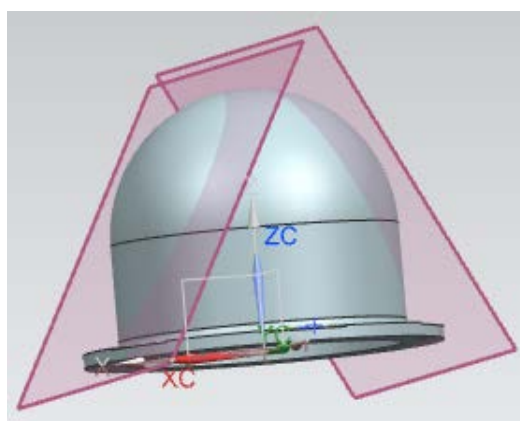
Для удобства дальнейшей работы следует скрыть плоскости, расположенные параллельно оси корпуса. Подводят курсор к нужной плоскости, нажимают на правую кнопку мыши и в появившемся окне

выбирают опцию **Скрыть** (рис. 1.30, а). Выполнив данное действие с обеими плоскостями, получают вид, представленный на рис. 1.30, б.

На построенных наклонных плоскостях выполняются эскизы (рис. 1.31).



а)



б)

Рис. 1.30. Скрытие плоскостей: а – выполнение команды;
б – результат построения

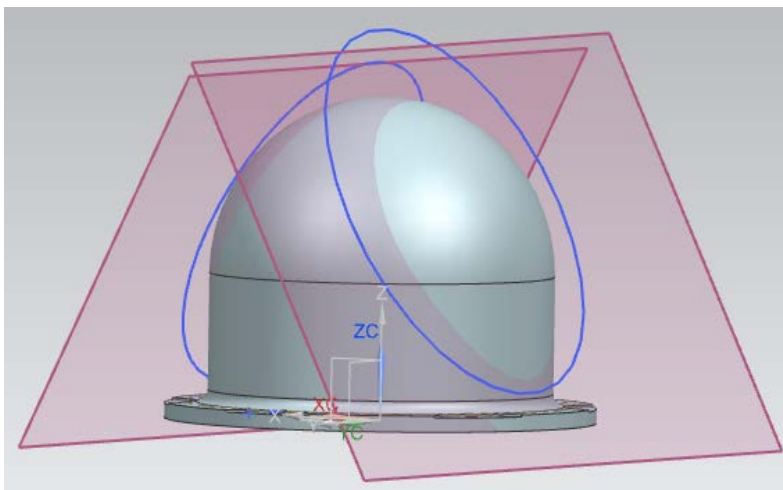


Рис. 1.31. Построение эскизов на наклонных плоскостях

Выполняют команду **Вытягивание**, выбирают один из последних эскизов и, установив параметр булевой операции в **Вычитание**, срезают часть корпуса (рис. 1.32). Выполняют аналогичные действия, выбрав другой эскиз (рис. 1.33).

Следующий эскиз в виде двух окружностей диаметрами 170 и 164 мм выполняется в одной из наклонных плоскостей (рис. 1.34).

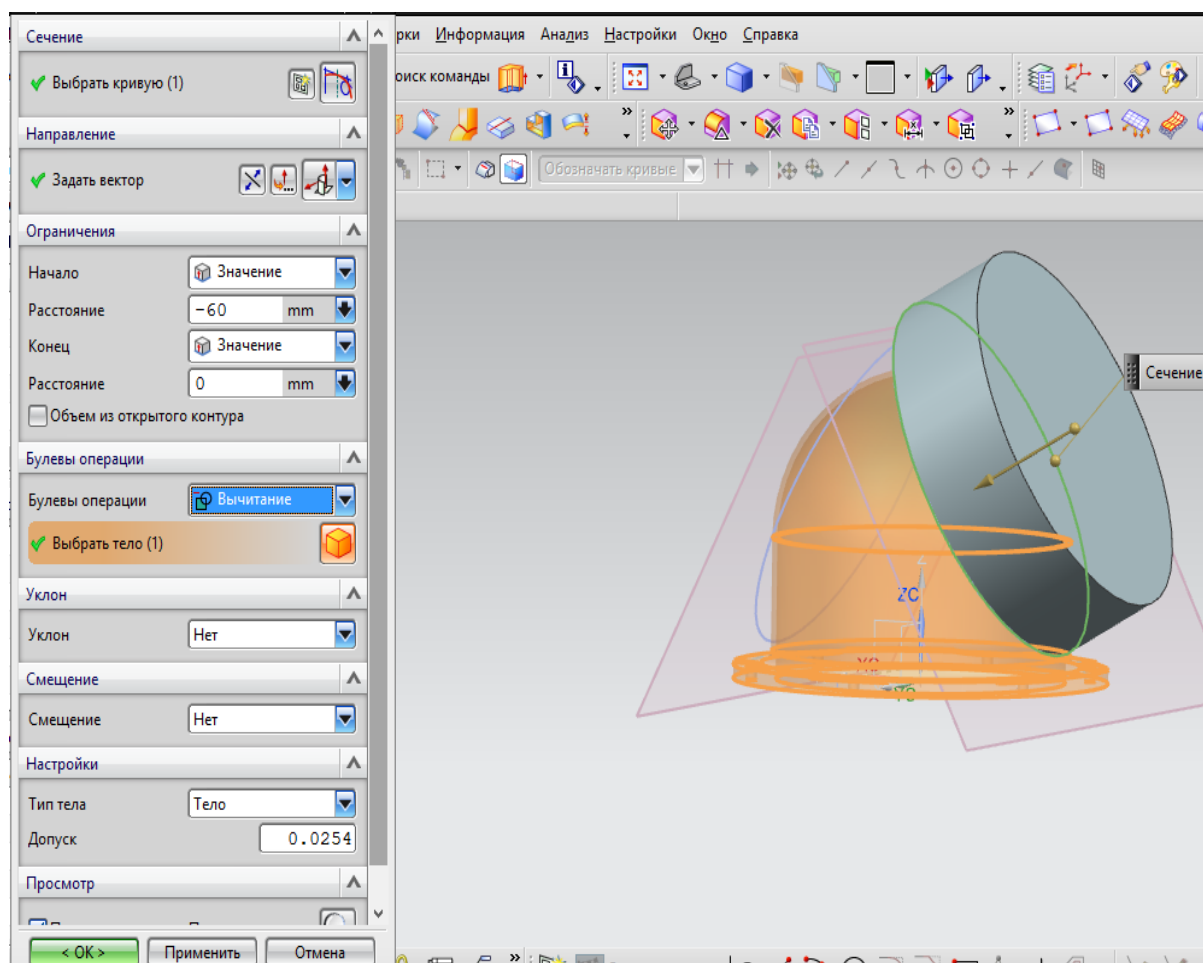


Рис. 1.32. Выполнение команды «Вытягивание»

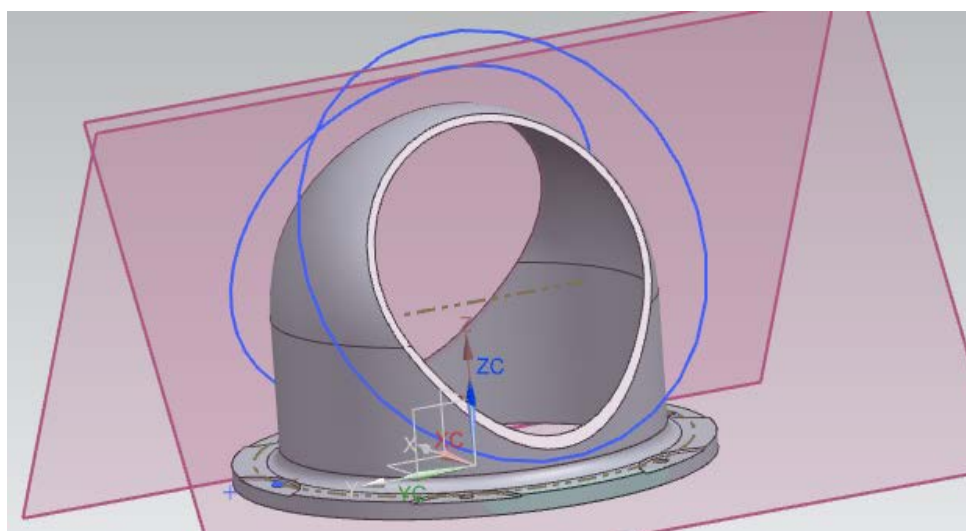


Рис. 1.33. 3D модель корпуса со срезами

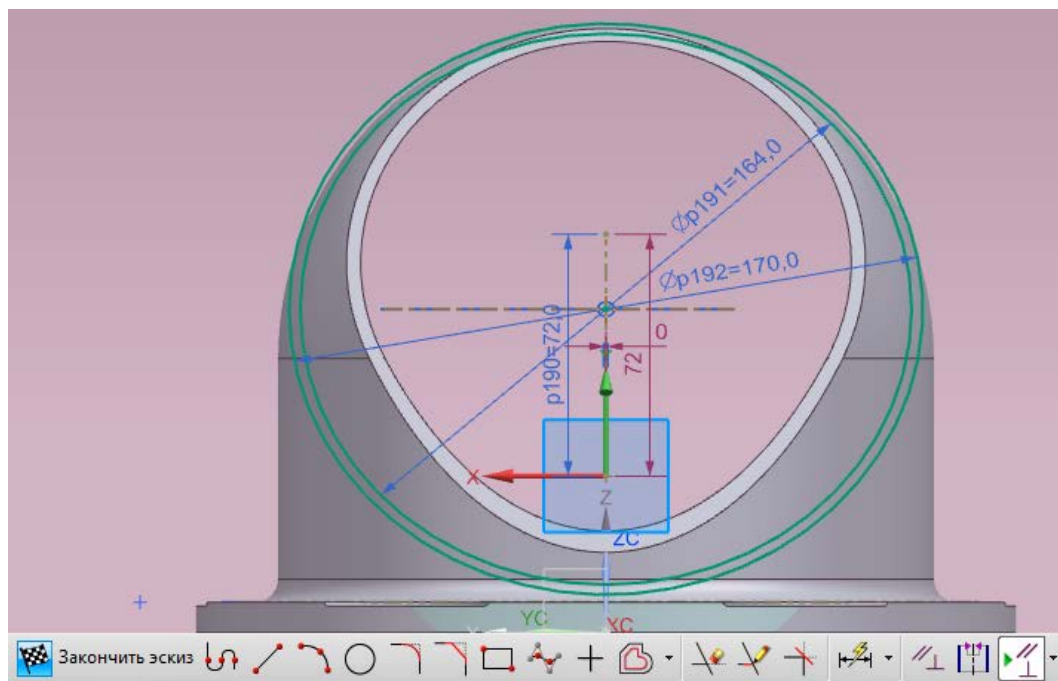


Рис. 1.34. Выполнение эскиза на наклонной плоскости

Далее с помощью команды **Вытягивание** по последнему эскизу с установкой булевой операции в значение **Объединение** (рис. 1.35) получают модель, представленную на рис. 1.36.

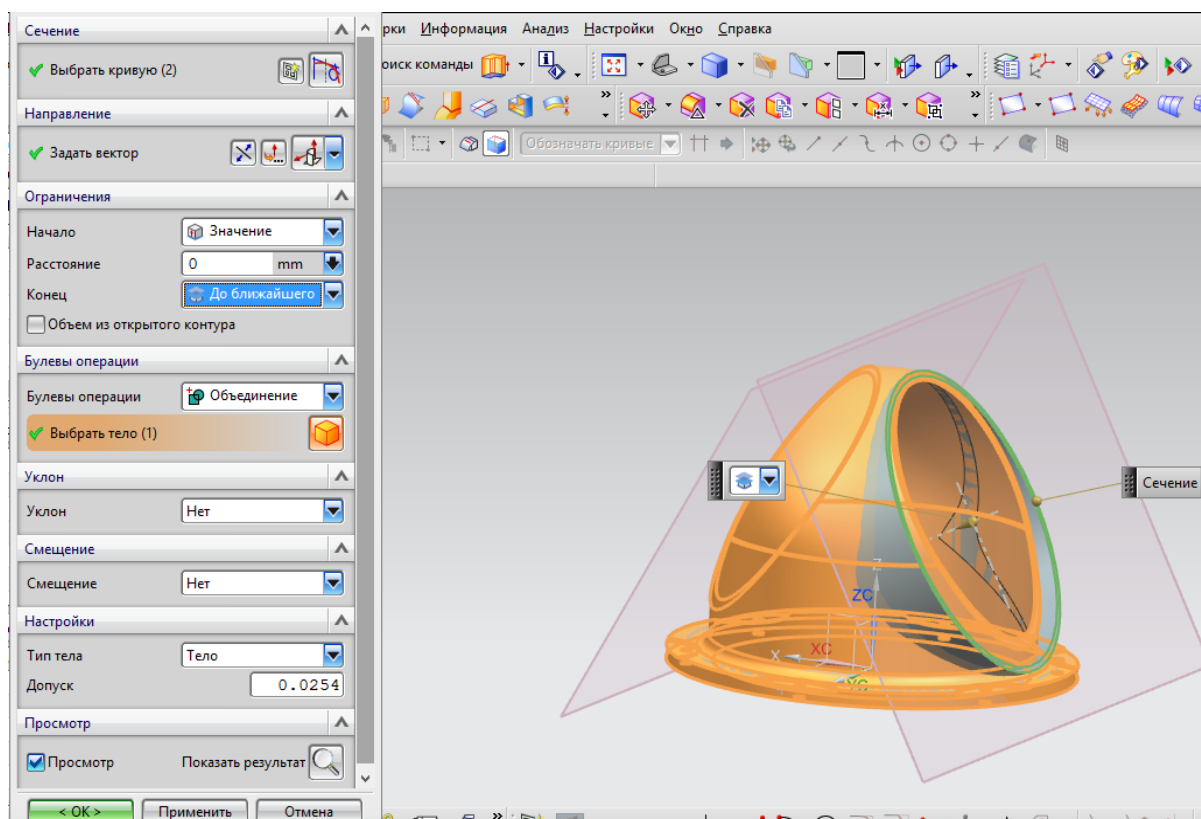


Рис. 1.35. Выполнение команды «Вытягивание»

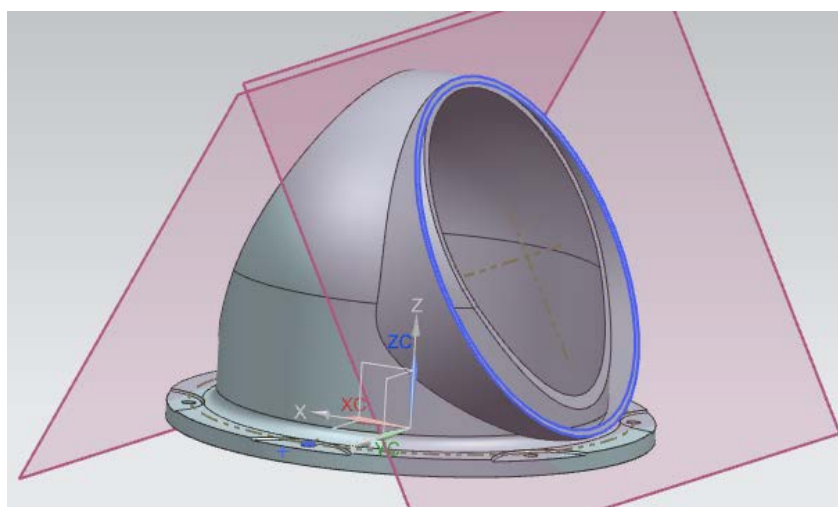


Рис. 1.36. 3D модель корпуса с промежуточными построениями фланцевой части

В этой же плоскости выполняется следующий эскиз окружности диаметром 164 мм (отмечен красным цветом на рис. 1.37).

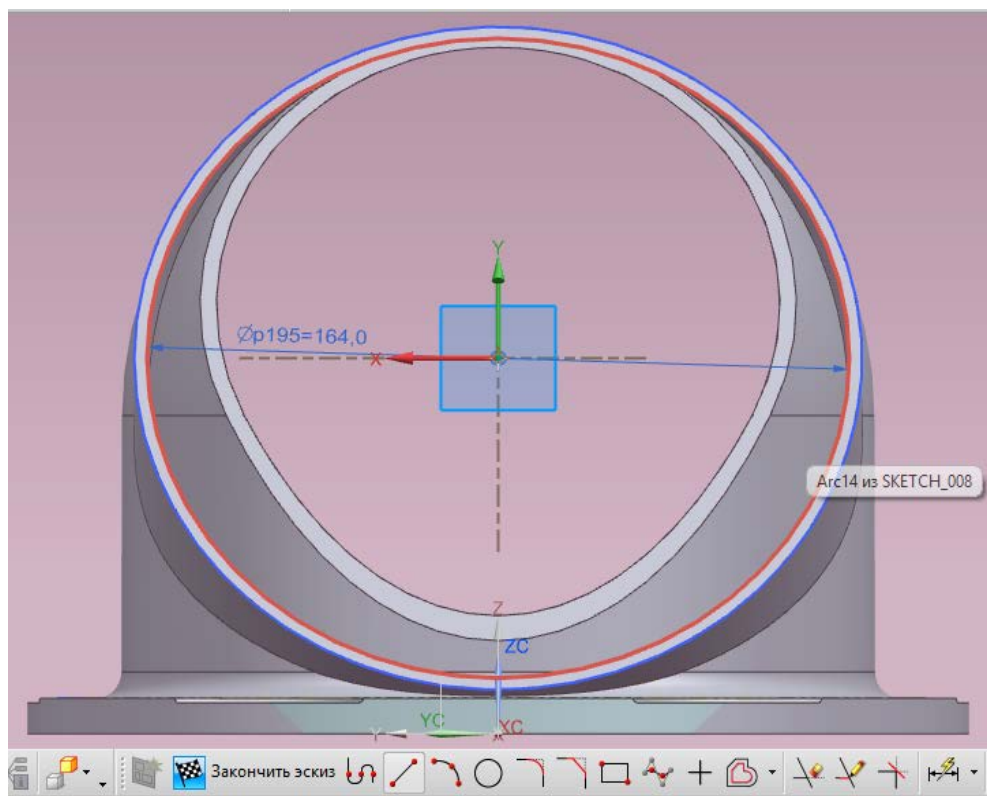


Рис. 1.37. Построение эскиза окружности

Осуществляют вычитание построенного эскиза (рис. 1.38), в результате чего получают 3D модель корпуса, представленную на рис. 1.39.

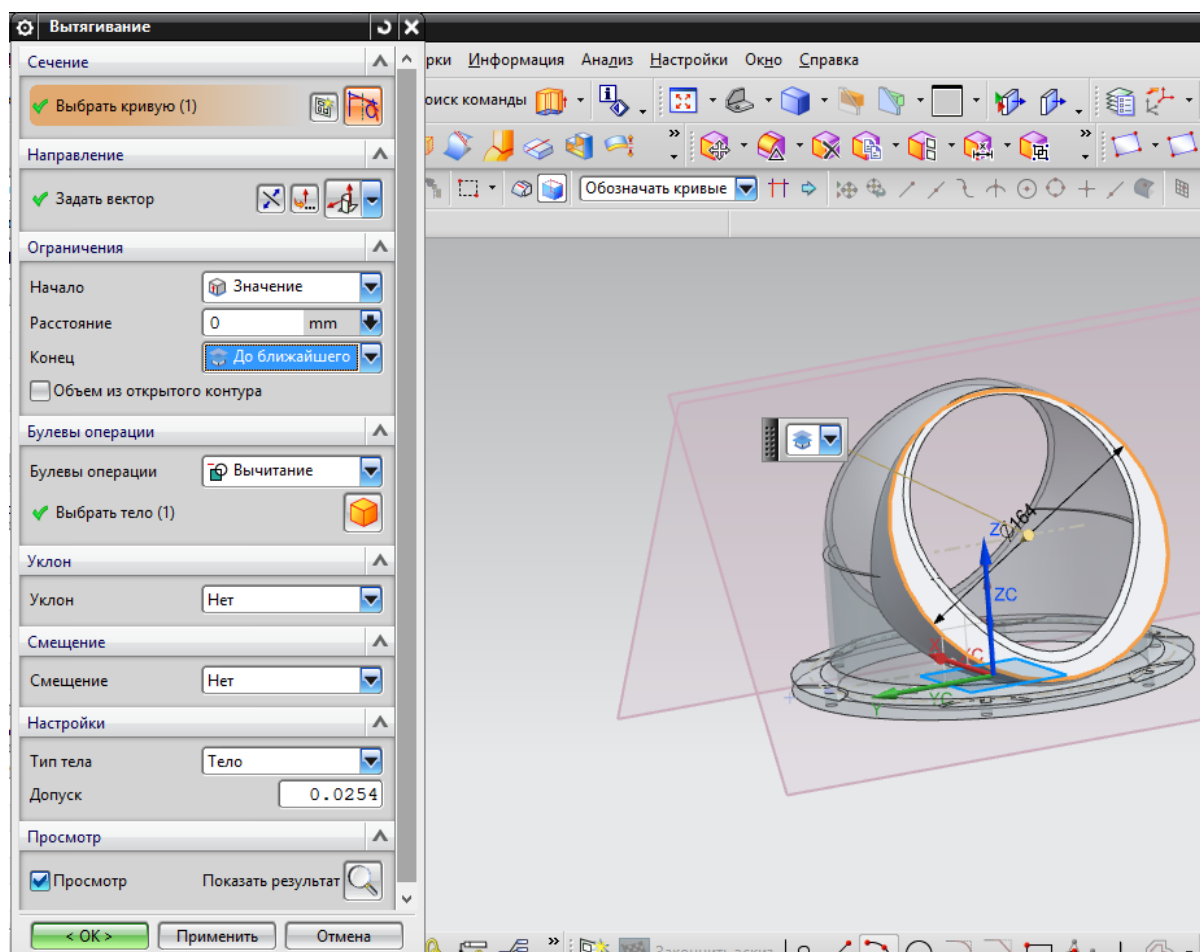


Рис. 1.38. Выполнение вычитания построенного эскиза

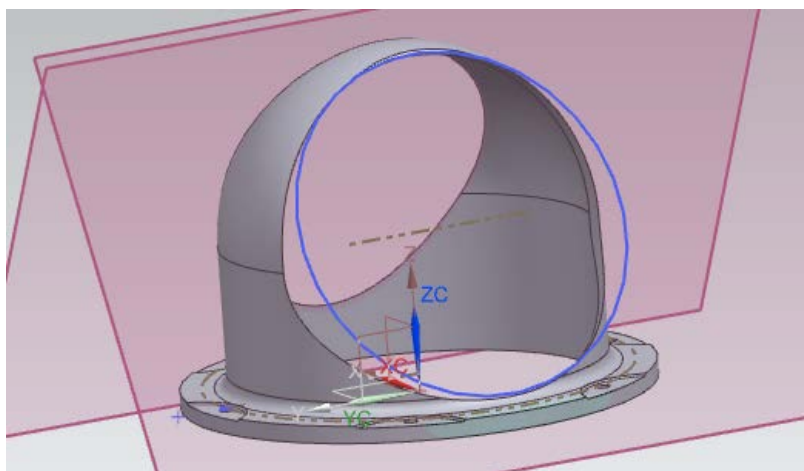


Рис. 1.39. 3D модель корпуса со срезом

Симметричные построения фланцевой части корпуса выполняются с использованием команды **Зеркальный элемент** (рис. 1.40).

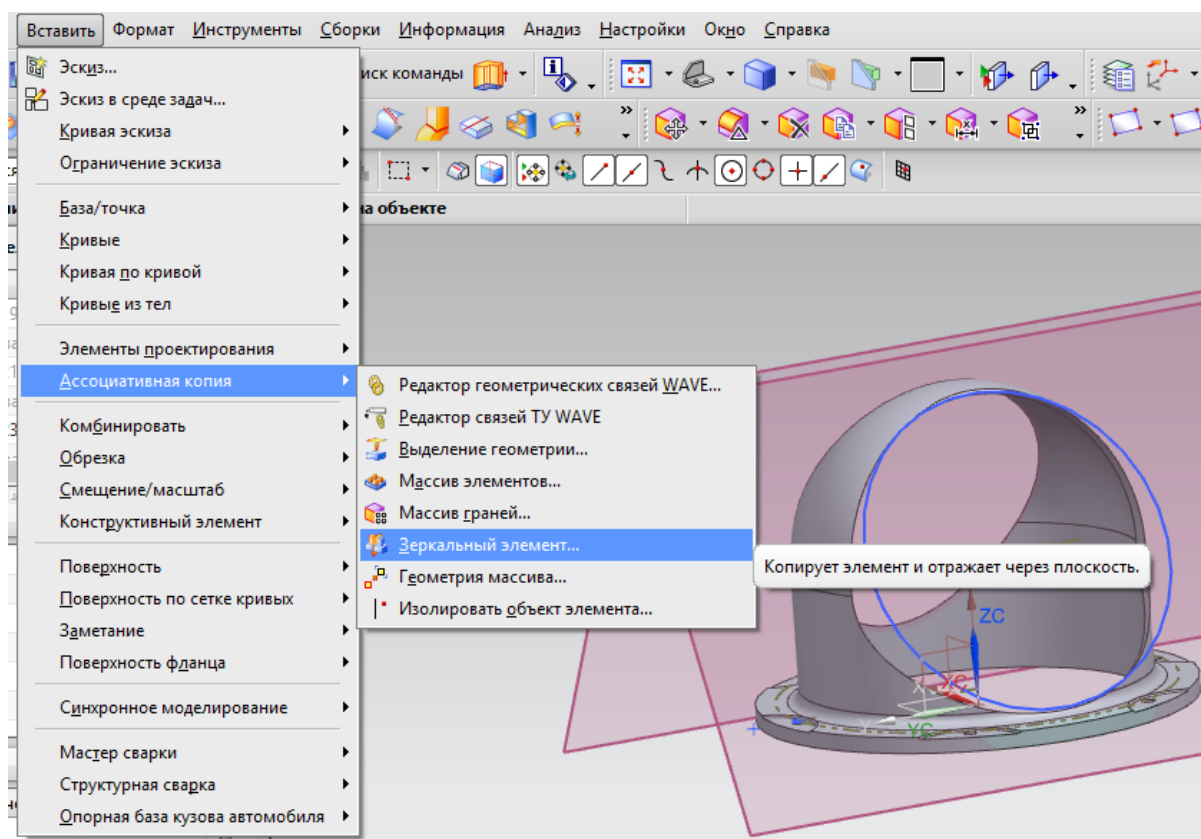
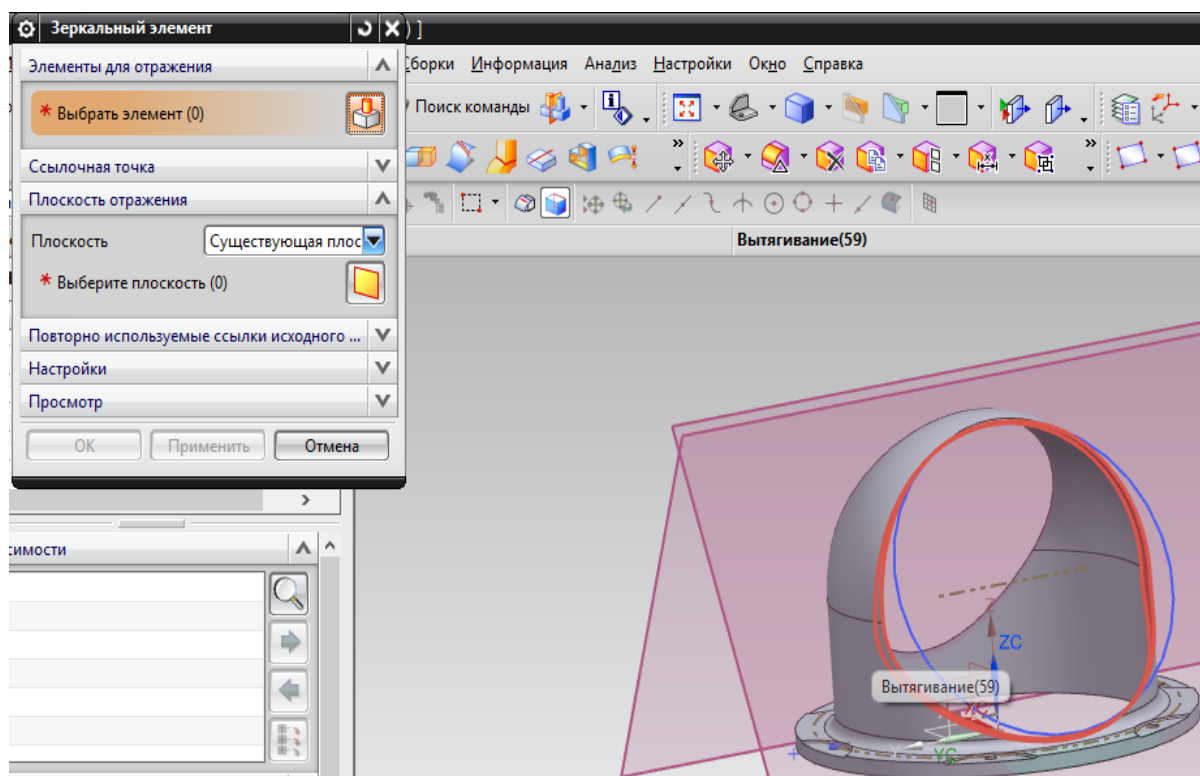


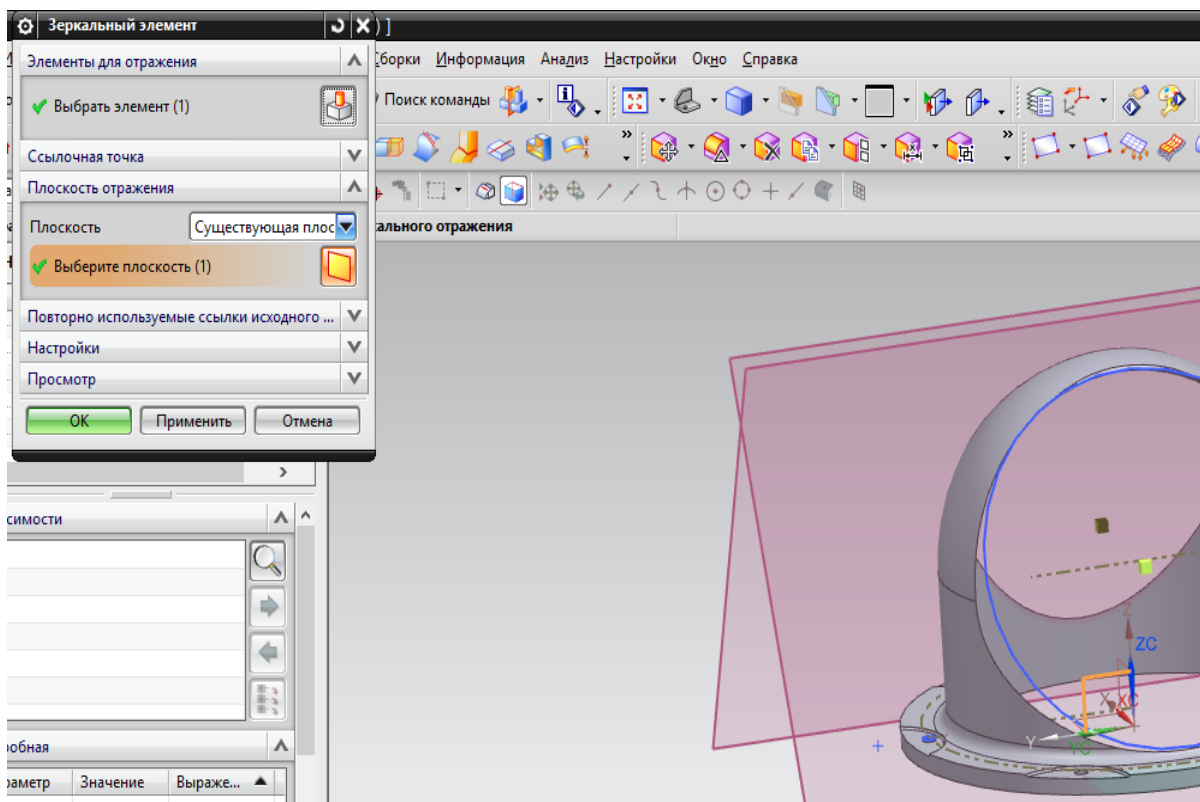
Рис. 1.40. Выполнение команды «Зеркальный элемент»

В качестве элемента построения в диалоговом окне выбирается **Вытягивание** (отмечено красным цветом на рис. 1.41, а), в качестве плоскости — плоскость **YZ** (отмечена оранжевым цветом на рис. 1.41, б).

3D модель приобретает вид, представленный на рис. 1.42.

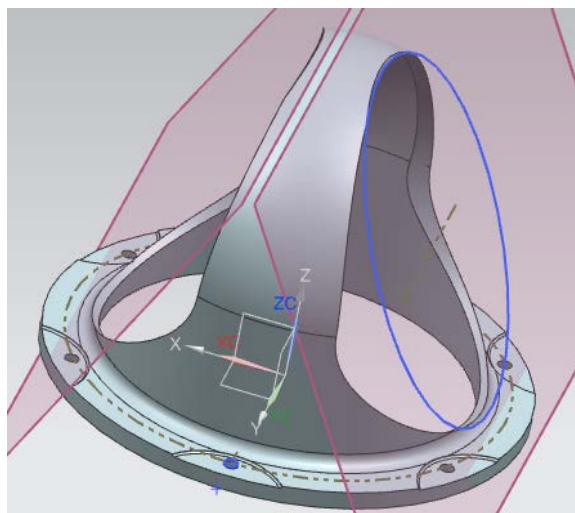


а)



б)

Рис. 1.41. Задание параметров команды «Зеркальный элемент»:
 а – задание элемента построения; б – выбор плоскости симметрии



**Рис. 1.42. 3D модель корпуса со срезами под наклонные
фланцевые части**

Для построения фланцевых частей корпуса в наклонной плоскости создается эскиз фланца (отмечен красным цветом на рис. 1.43). Применяв к построенному эскизу команду **Вытягивание** (рис. 1.44), получают 3D модель, представленную на рис. 1.45.

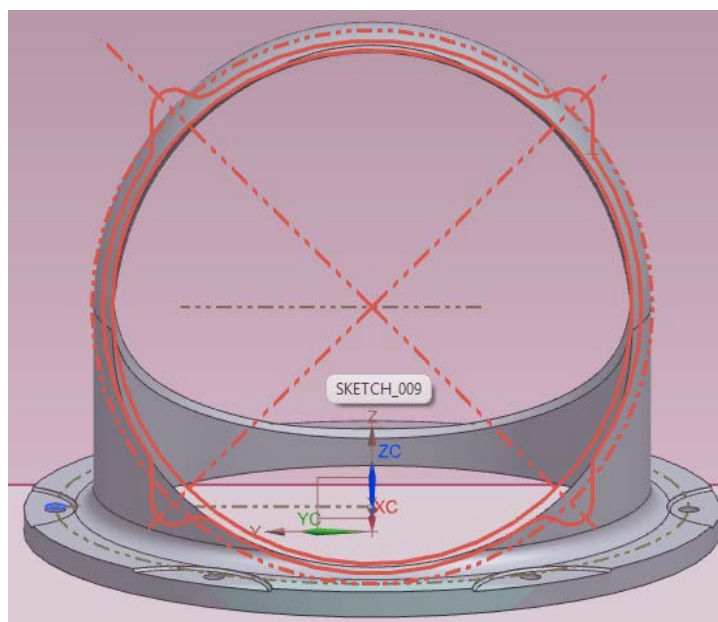


Рис. 1.43. Построение эскиза фланцевой части корпуса

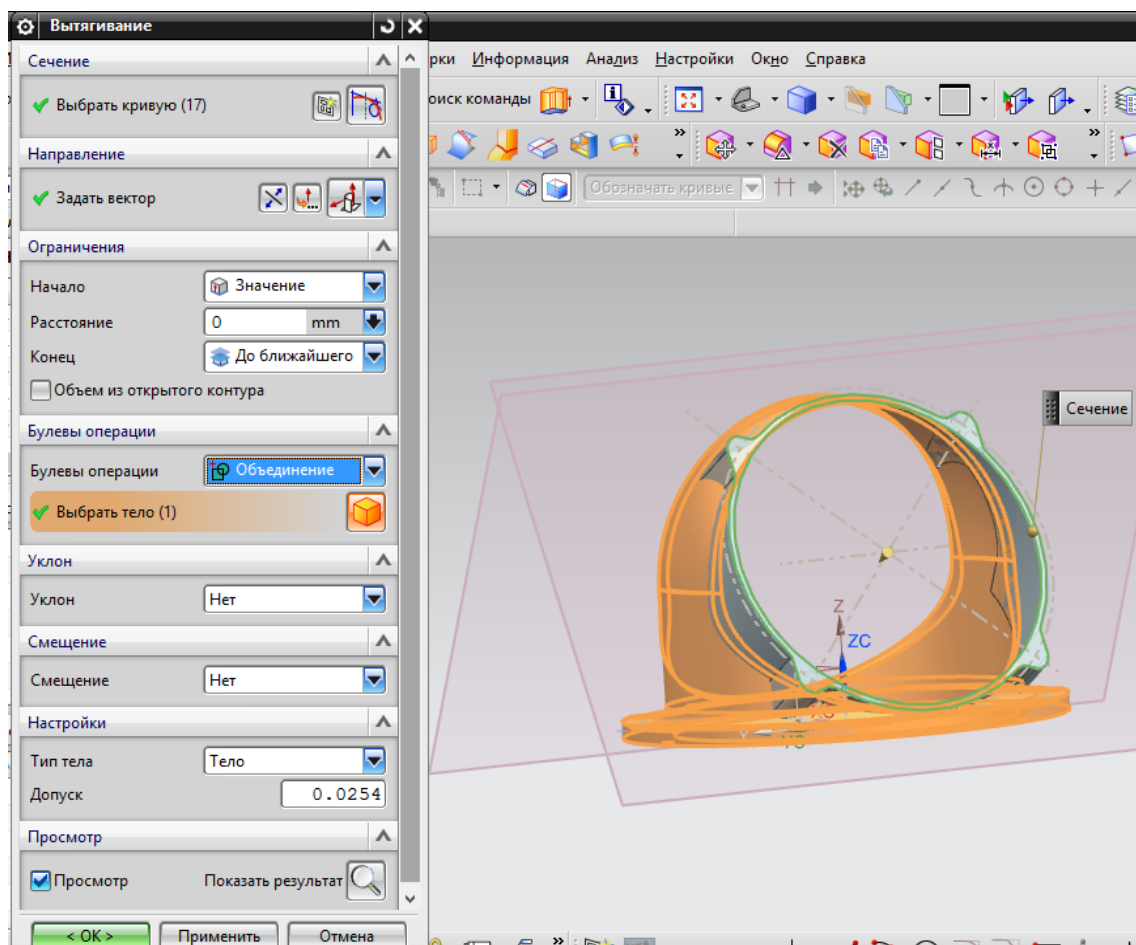


Рис. 1.44. Выполнение команды «Вытягивание»

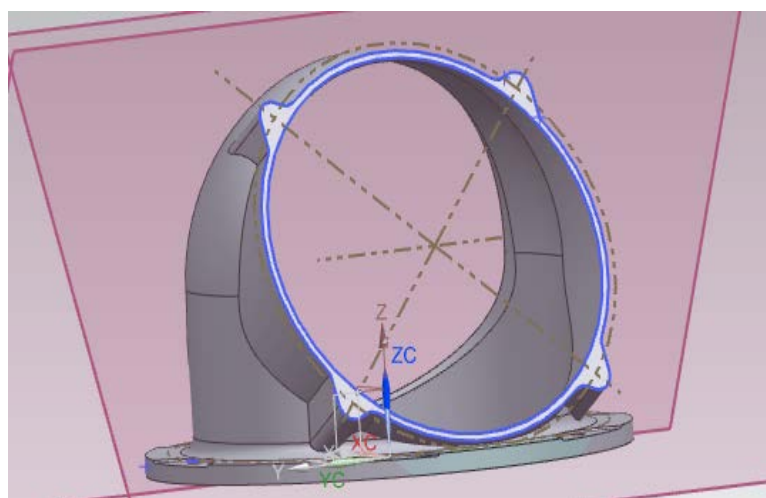


Рис. 1.45. 3D модель корпуса с фланцевой частью

После применения команды **Зеркальный элемент** получается модель, представленная на рис. 1.46.

С помощью команды **Отверстия** создаются 4 резьбовых отверстия М6 (рис. 1.47). Результат выполнения операции представлен на рис. 1.48.

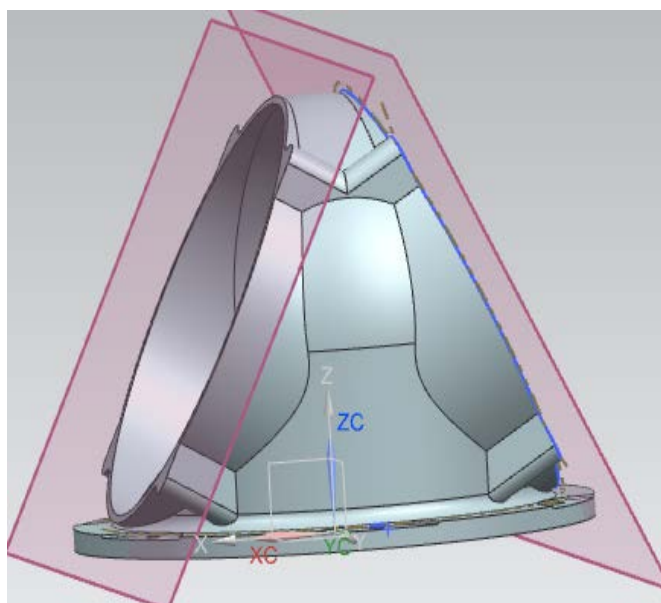


Рис. 1.46. 3D модель корпуса с фланцевыми частями

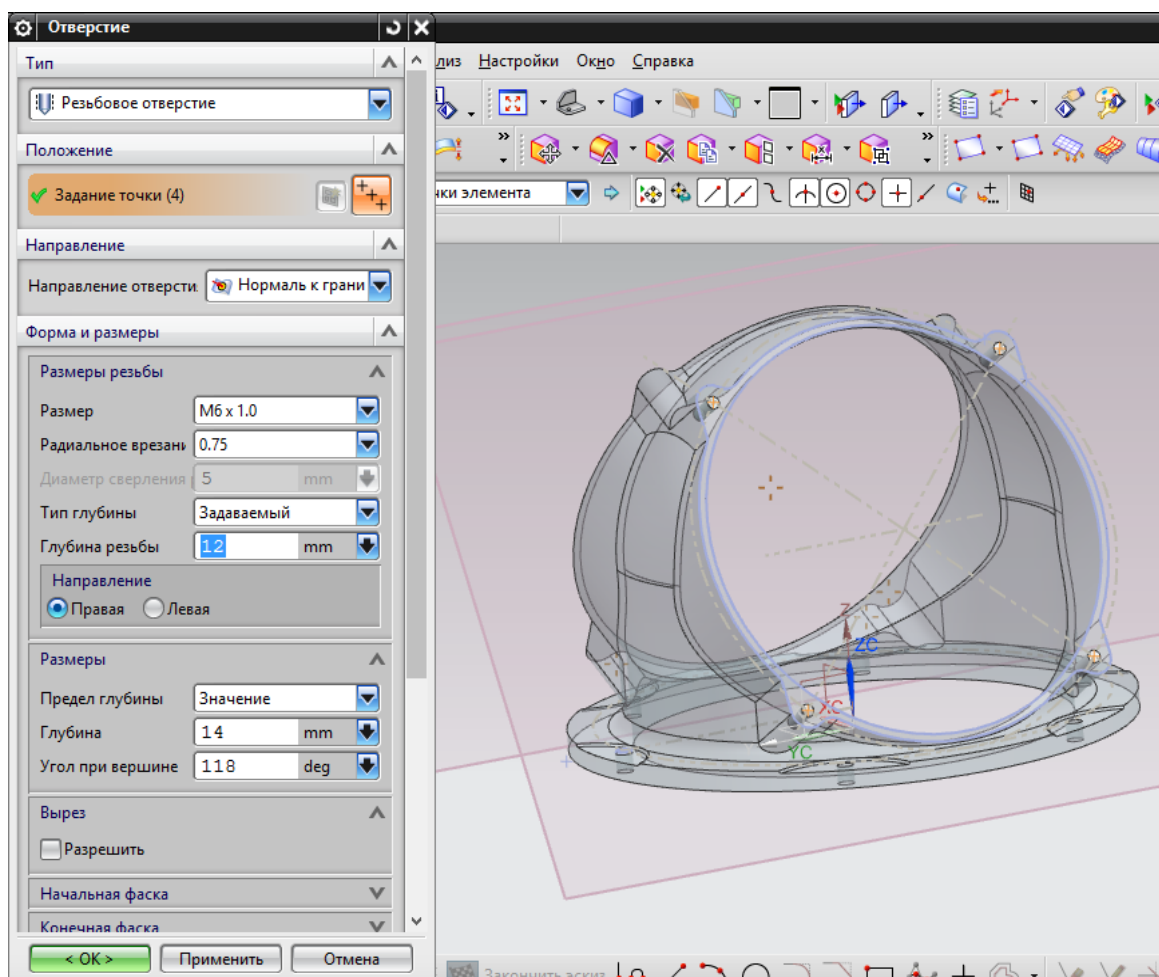


Рис. 1.47. Создание резьбовых отверстий на фланцевой части корпуса

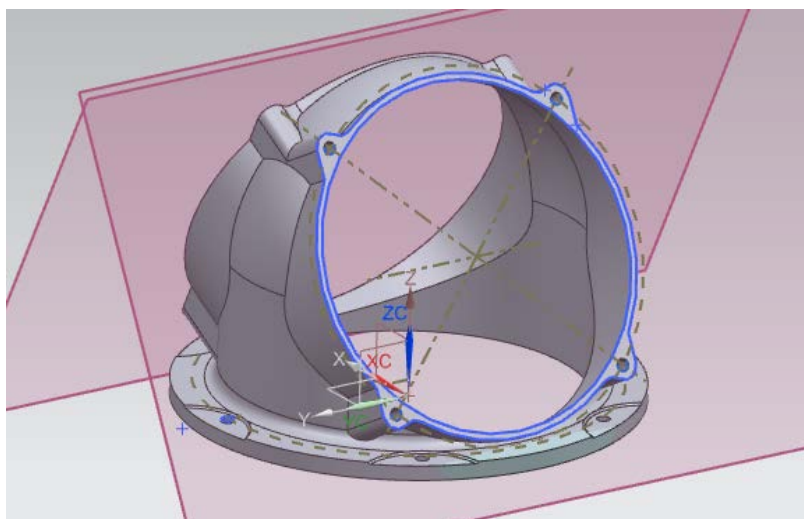


Рис. 1.48. 3D модель корпуса с резьбовыми отверстиями на фланцевых частях

С помощью команды **Зеркальный элемент** такие же отверстия создаются на противоположной фланцевой части.

Затем на одной из наклонных плоскостей создается эскиз, состоящий из двух окружностей диаметрами 160 и 170 мм (рис. 1.49). К построенному эскизу применяется команда **Вытягивание** на расстояние 6 мм внутрь фланцевой части (рис. 1.50) и выполняется зеркальное отображение построенного элемента (рис. 1.51).

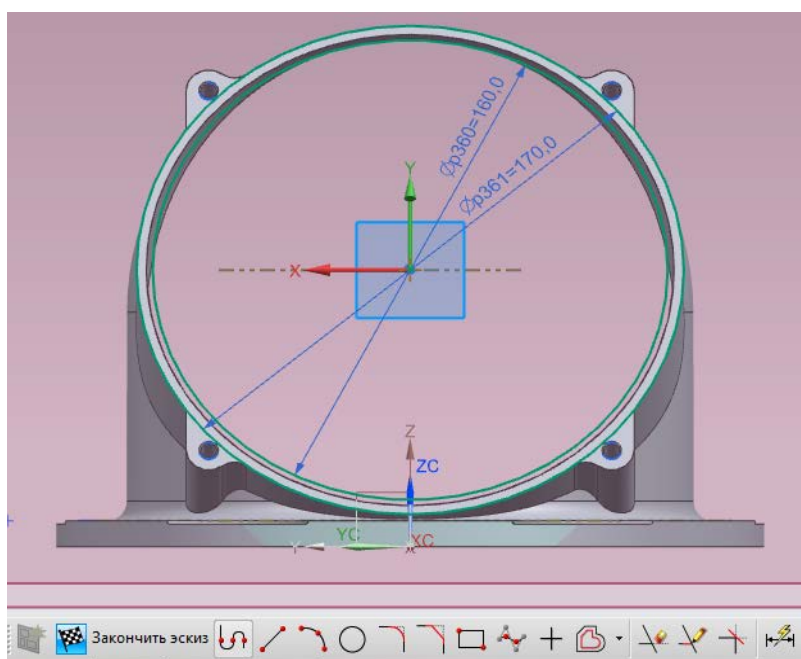


Рис. 1.49. Построение эскиза на наклонной плоскости

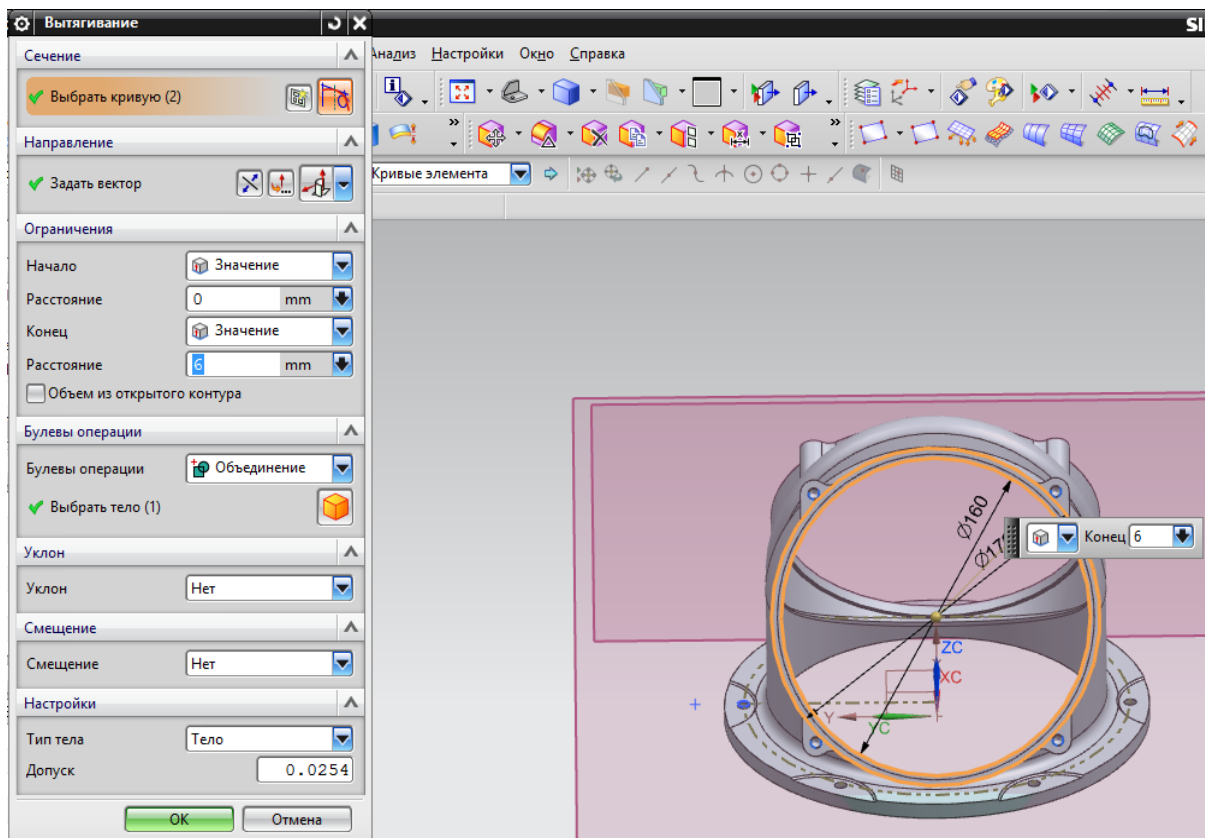


Рис. 1.50. Выполнение команды «Вытягивание»

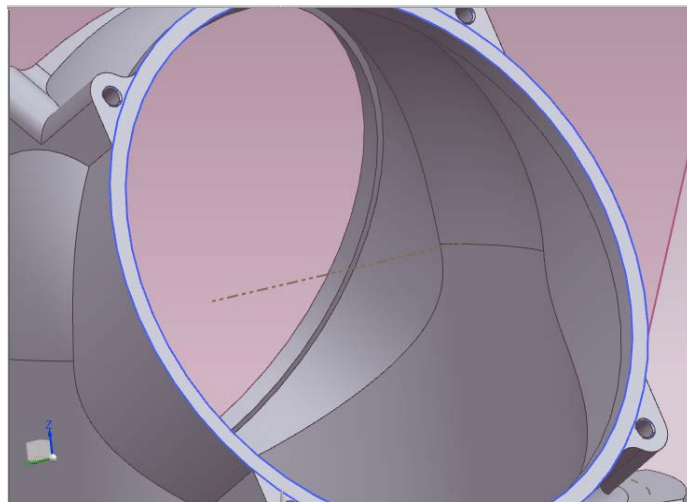


Рис. 1.51. 3D модель корпуса с окончательно построенными фланцевыми частями

Чтобы получить косынку на верхней части корпуса, строится вырез под нее, для чего в плоскости XZ создается эскиз (отмечен красным цветом на рис. 1.52). Выбирается команда **Вращение**, при этом в качестве булевой операции используется опция **Вычитание**.

Выбирая кривую, указывают на построенный эскиз, а также вектор построения (рис. 1.53). Модель корпуса с вырезом под построение косынки представлена на рис. 1.54.

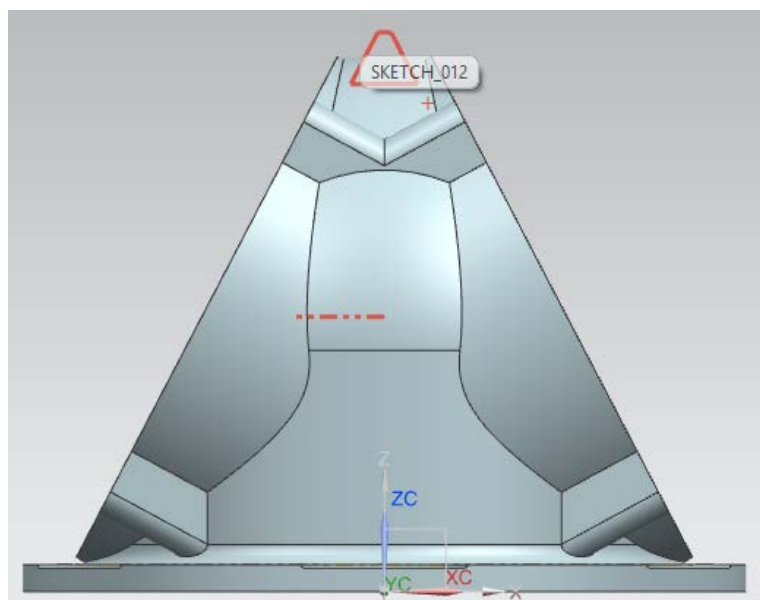


Рис. 1.52. Построение эскиза выреза под косынку

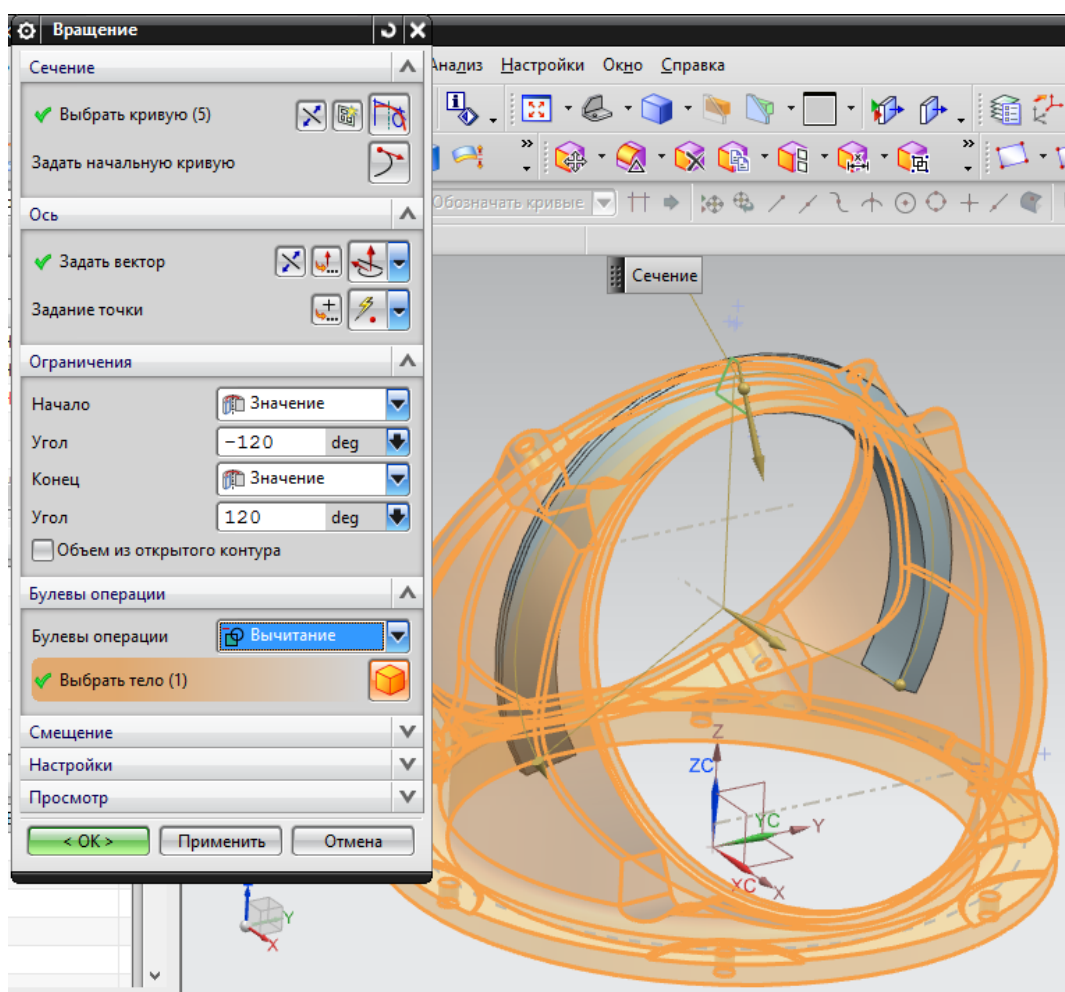


Рис. 1.53. Выполнение команды «Вращение»

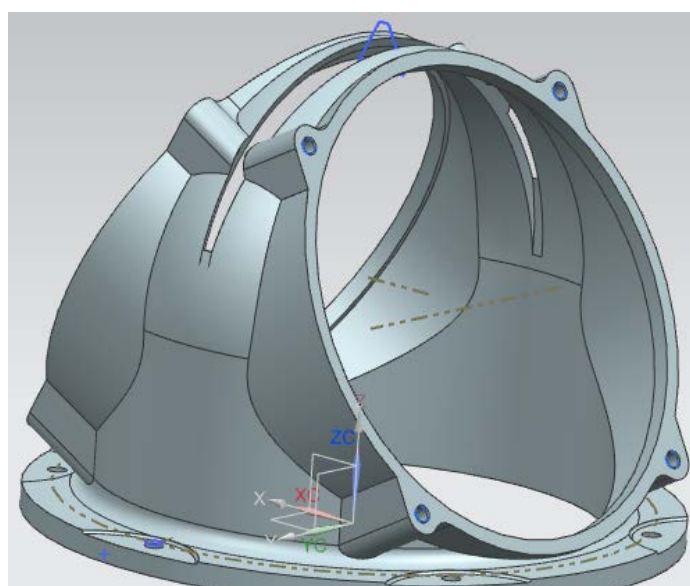


Рис. 1.54. 3D модель корпуса с вырезом под построение косынки

В плоскости XZ строится эскиз косынки (рис. 1.55) и с помощью команды **Вращение** создается новый элемент (рис. 1.56). Результат выполнения операции представлен на рис. 1.57.

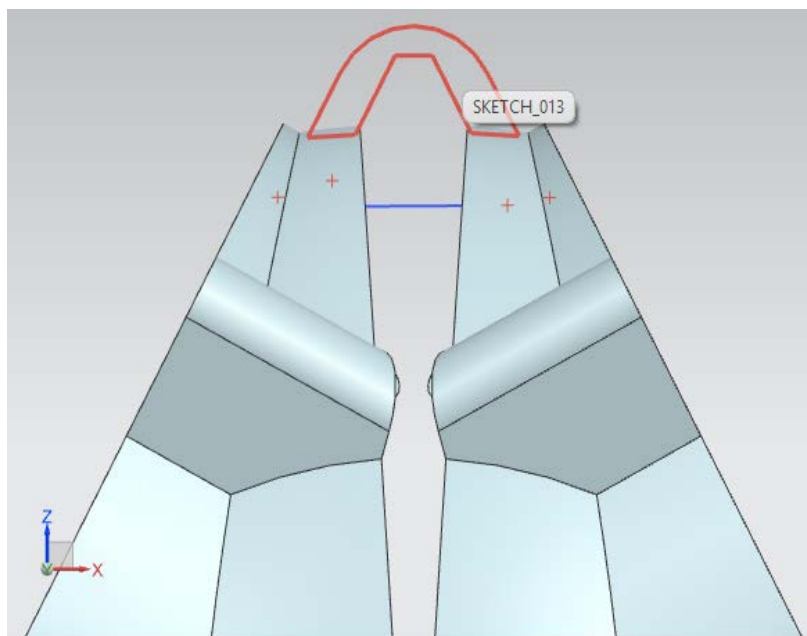


Рис. 1.55. Построение эскиза косынки

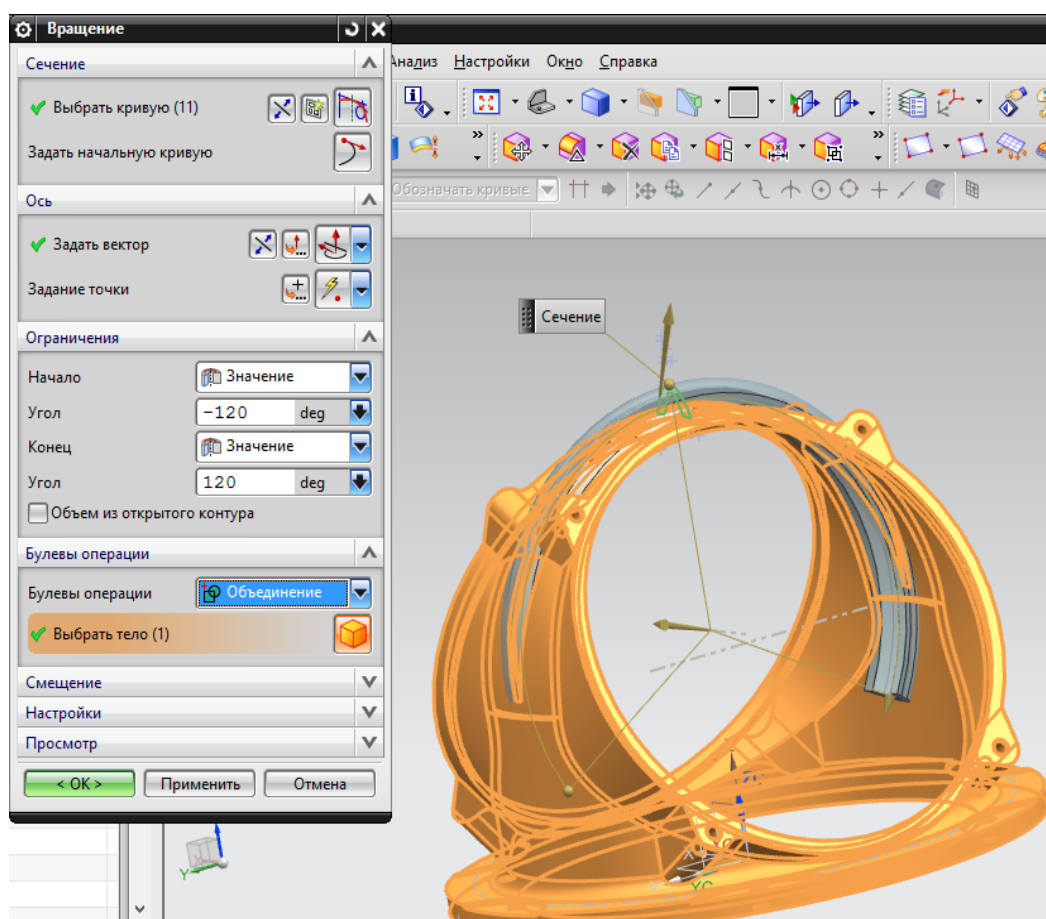


Рис. 1.56. Выполнение команды «Вращение»

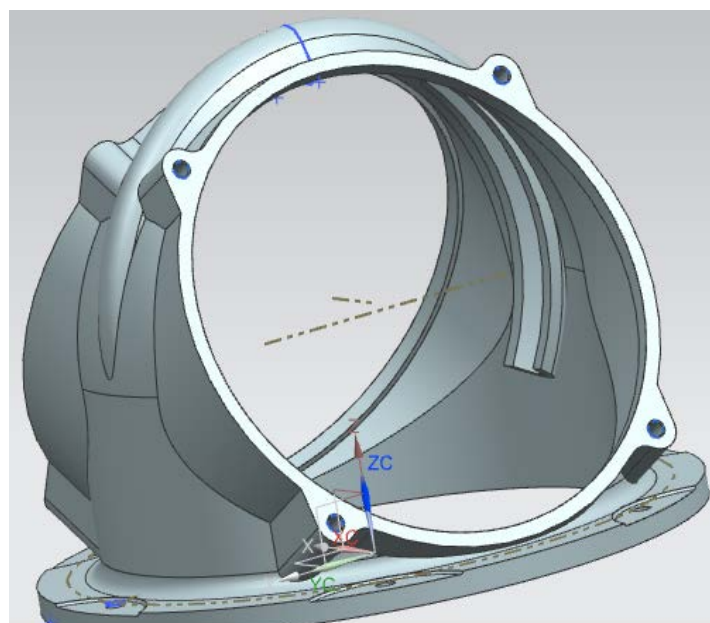


Рис. 1.57. 3D модель корпуса с построенной косынкой

Чтобы удалить лишние части построенной косынки, выполняется эскиз (отмечен зеленым цветом) на плоскости нижней части корпуса (отмечена красным цветом) (рис. 1.58).

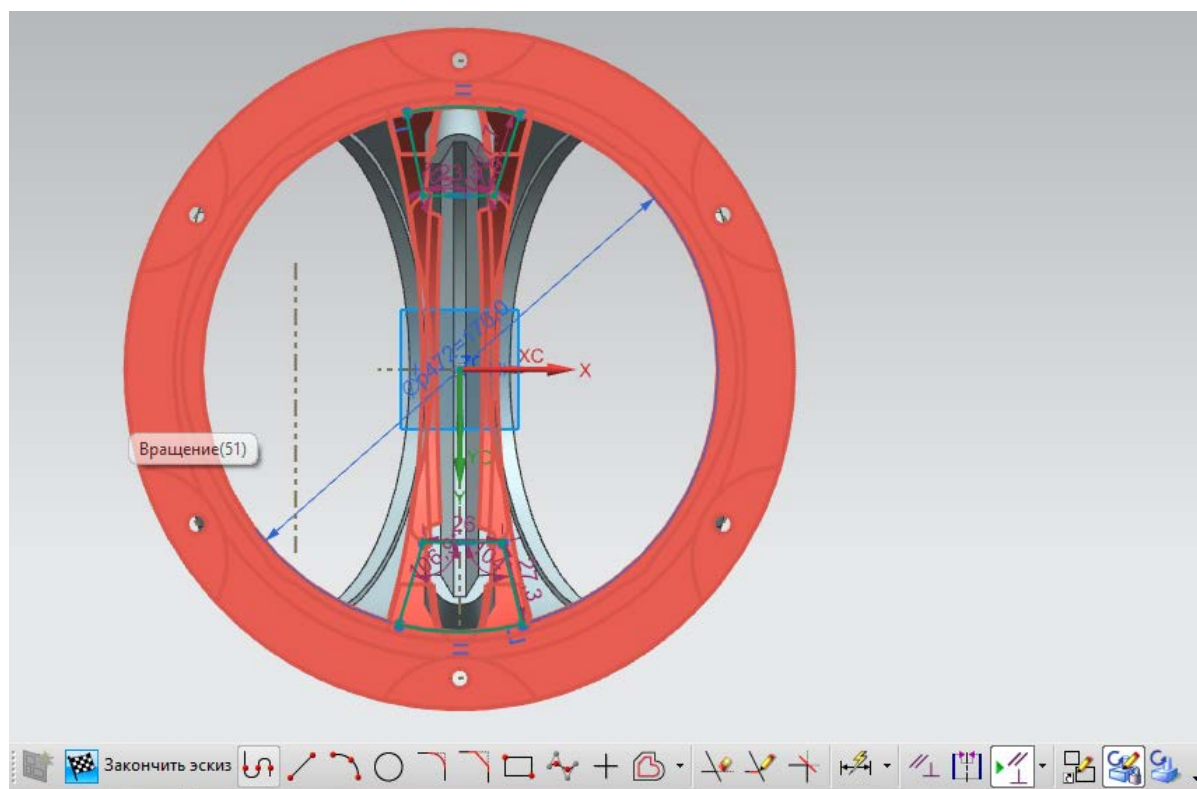


Рис. 1.58. Построение эскиза прямолинейного среза косынки корпуса

Выполняется вычитание построенных эскизов на расстояние 72 мм с использованием команды **Вытягивание** (рис. 1.59). Результат построения представлен на рис. 1.60.

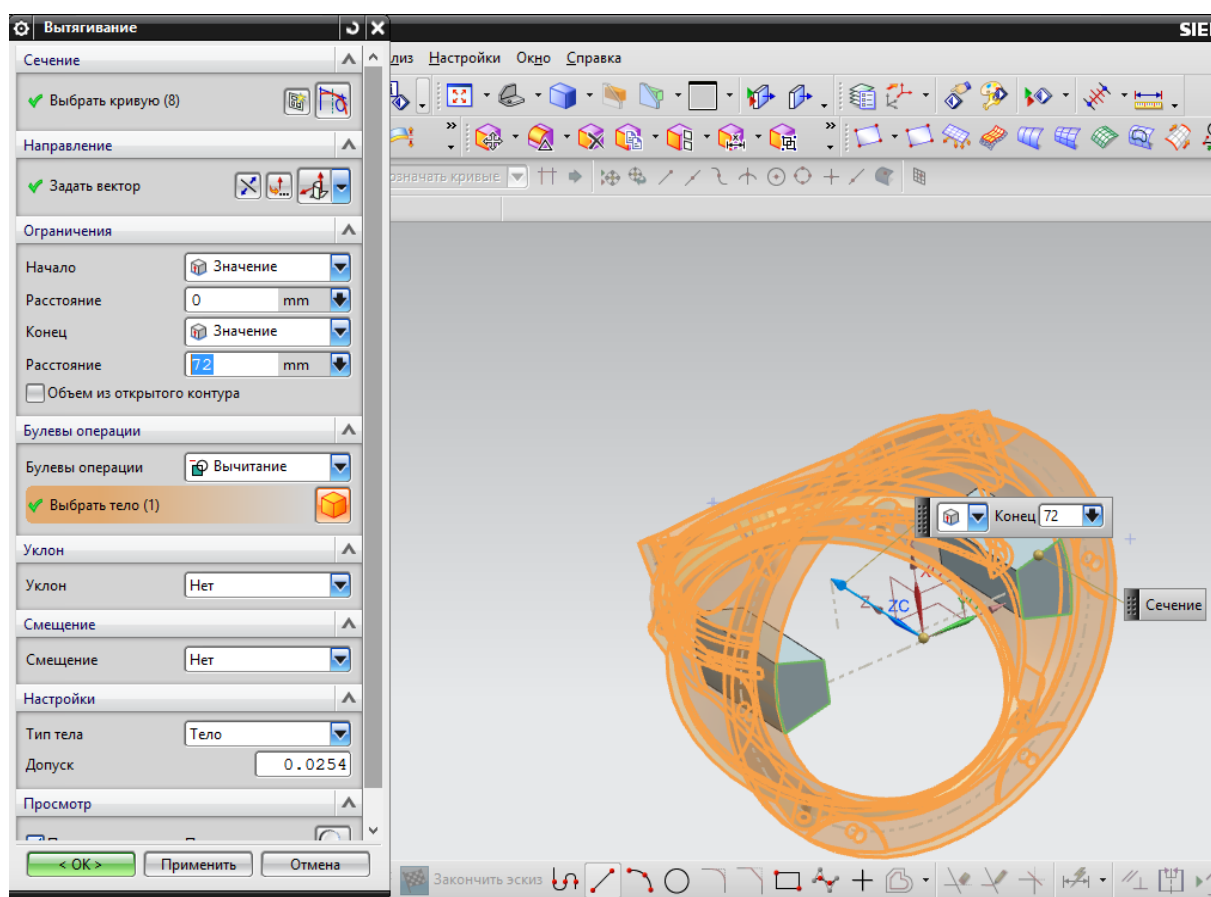


Рис. 1.59. Выполнение команды «Вытягивание»

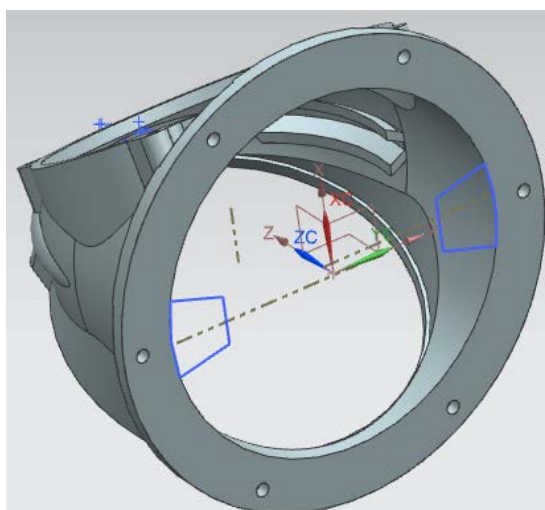


Рис. 1.60. 3D модель корпуса с выполненными срезами

Чтобы удалить скругленную часть косынки, создается новая плоскость на расстоянии 72 мм от основания корпуса (рис. 1.61). В этой плоскости создается эскиз (рис. 1.62).

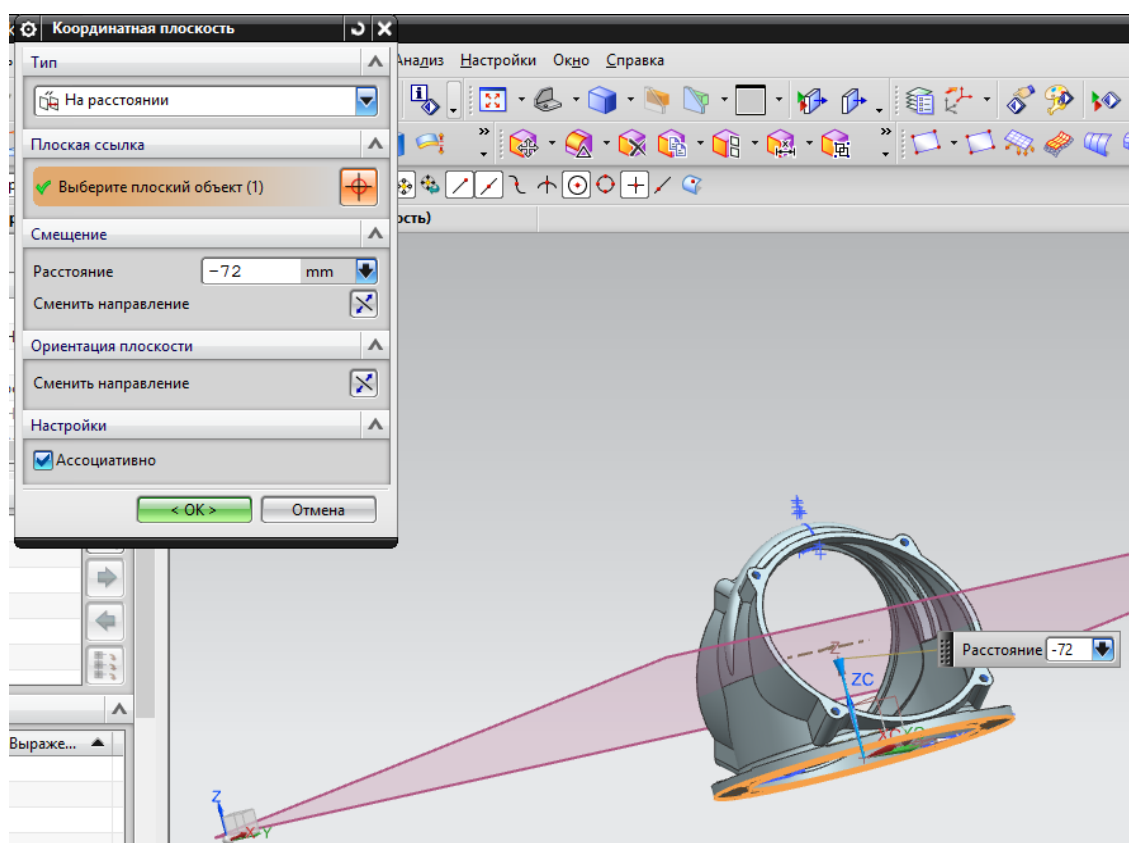


Рис. 1.61. Построение вспомогательной плоскости

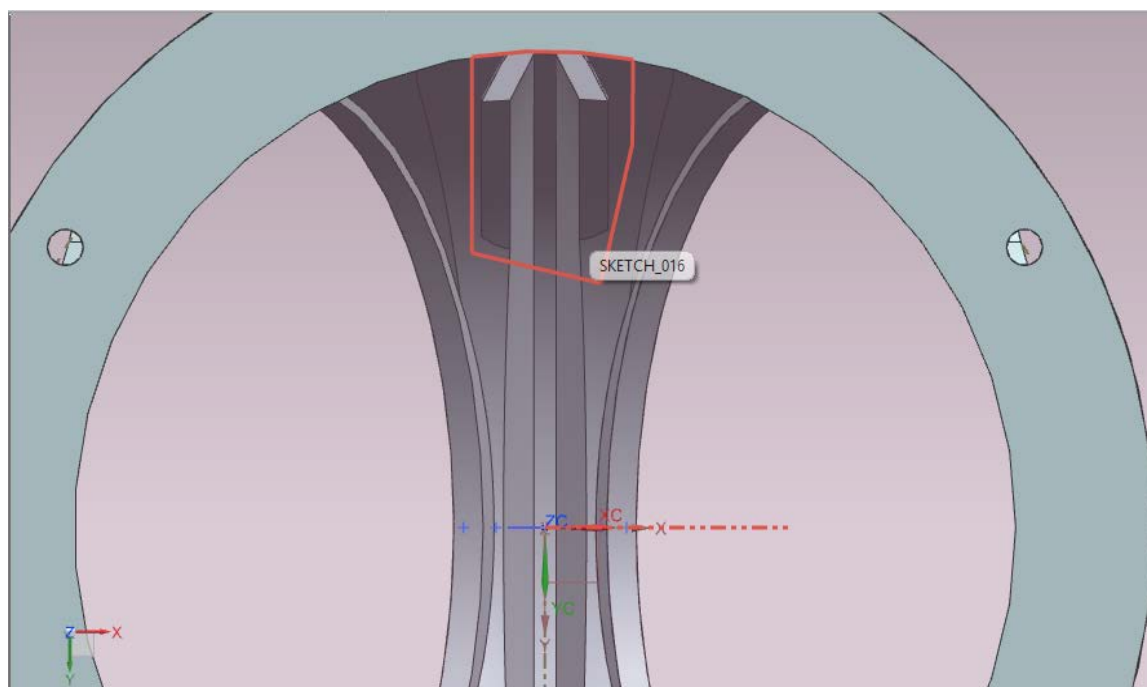


Рис. 1.62. Построение эскиза кругового среза косынки корпуса

Установив **Вычитание** в качестве булевой операции команды **Вращение**, выполняется срез на угол -55° (рис. 1.63).

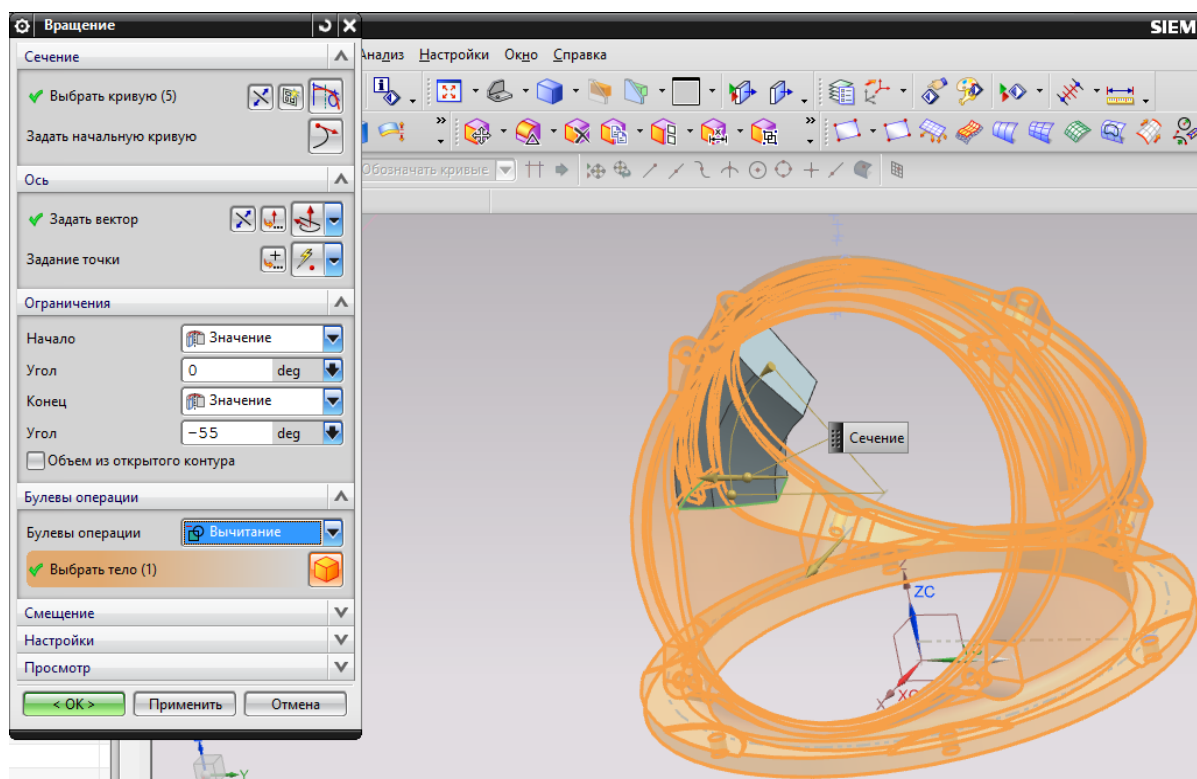


Рис. 1.63. Выполнение команды «Вращение»

С помощью команды **Зеркальный элемент** создают аналогичный элемент вращения относительно плоскости XZ с противоположной стороны корпуса (рис. 1.64).

С использованием команды **Скругление ребра** скругляются рёбра внутри косынки согласно эскизу (рис. 1.65).

Модель готовой детали представлена на рис. 1.66.

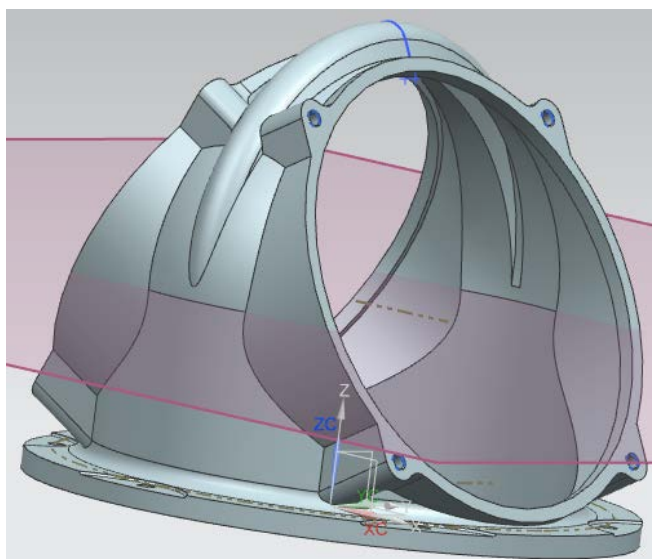
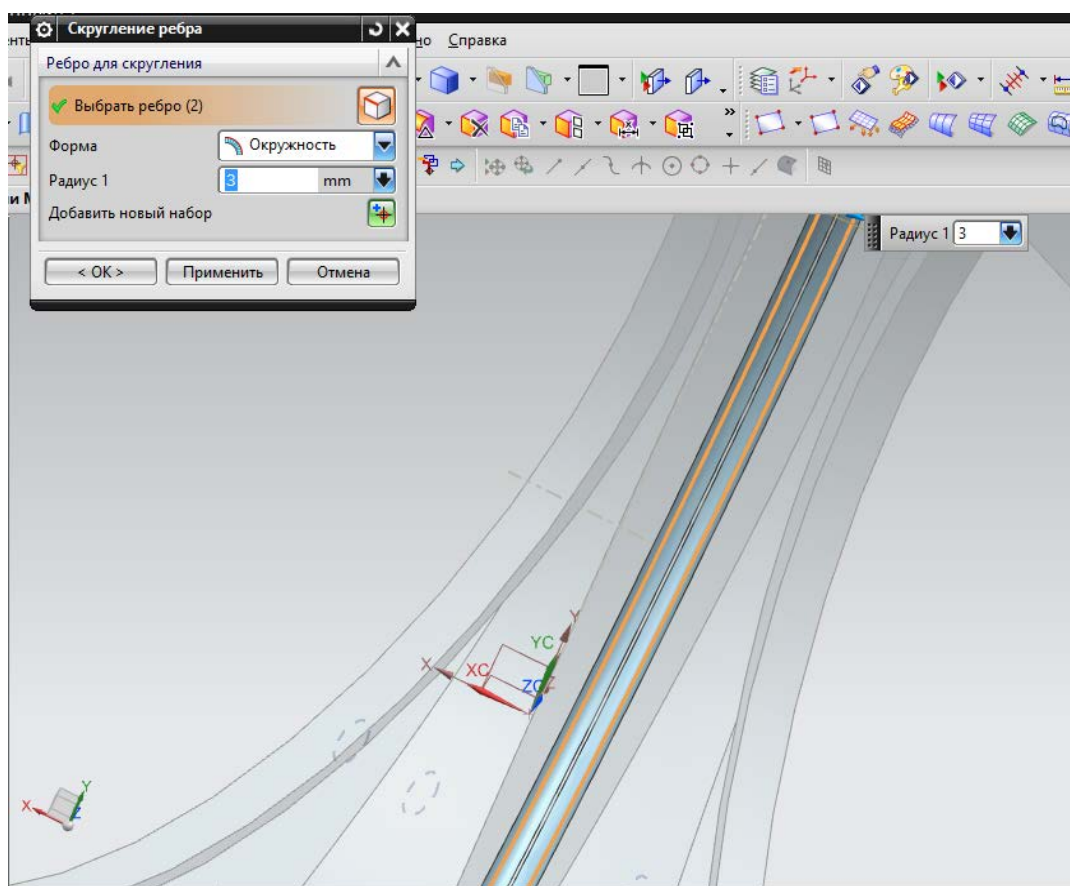


Рис. 1.64. 3D модель корпуса с косынкой



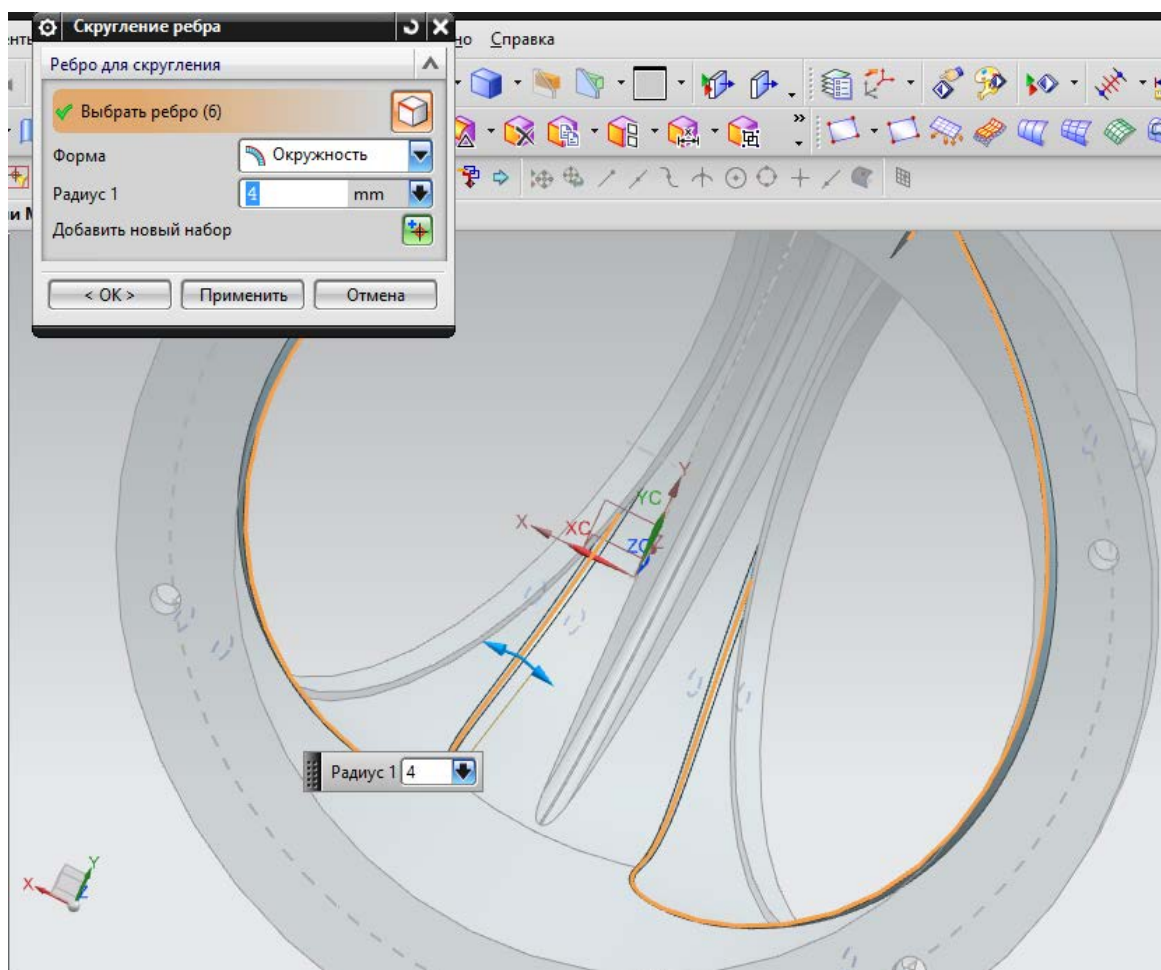


Рис. 1.65. Выполнение команды «Скругление ребра»

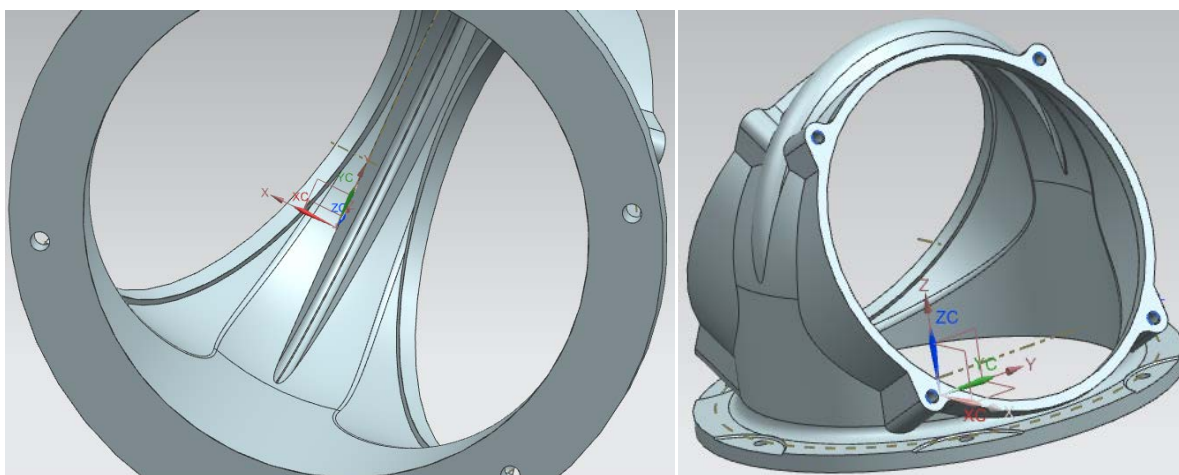


Рис. 1.66. 3D модель корпуса

1.3. Моделирование фланца

Модель фланца (рис. 1.67) создается аналогично модели корпуса. В плоскости YZ создается эскиз (рис. 1.68), затем к нему применяется команда **Вращение** (рис. 1.69). В результате получается модель, представленная на рис. 1.70.

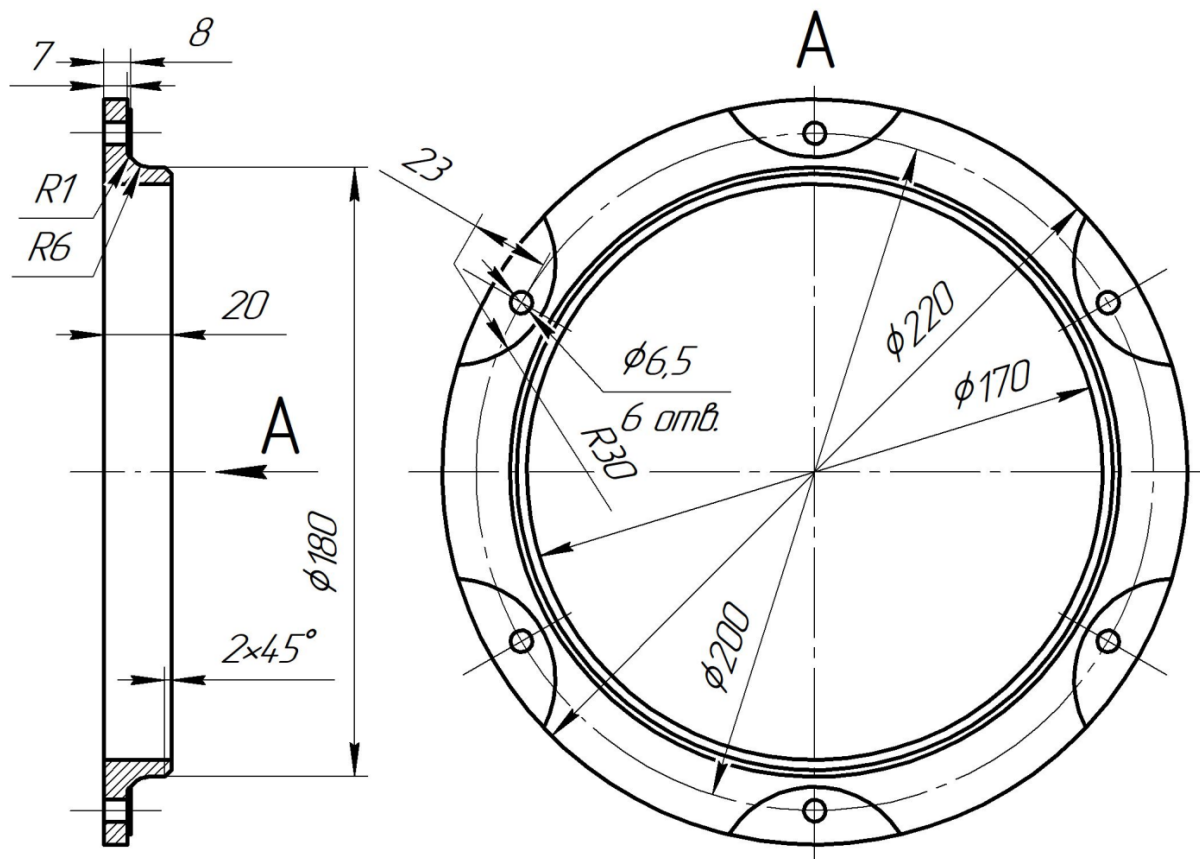


Рис. 1.67. Эскиз фланца

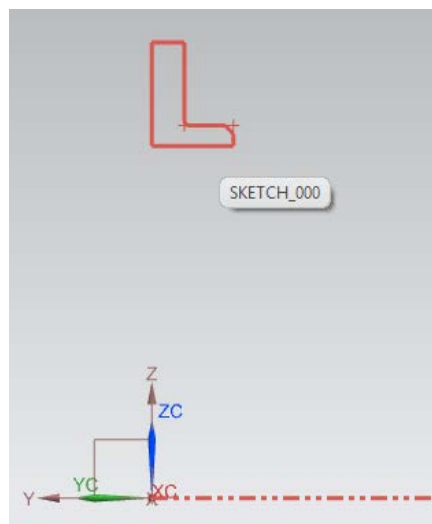


Рис. 1.68. Построение эскиза фланца

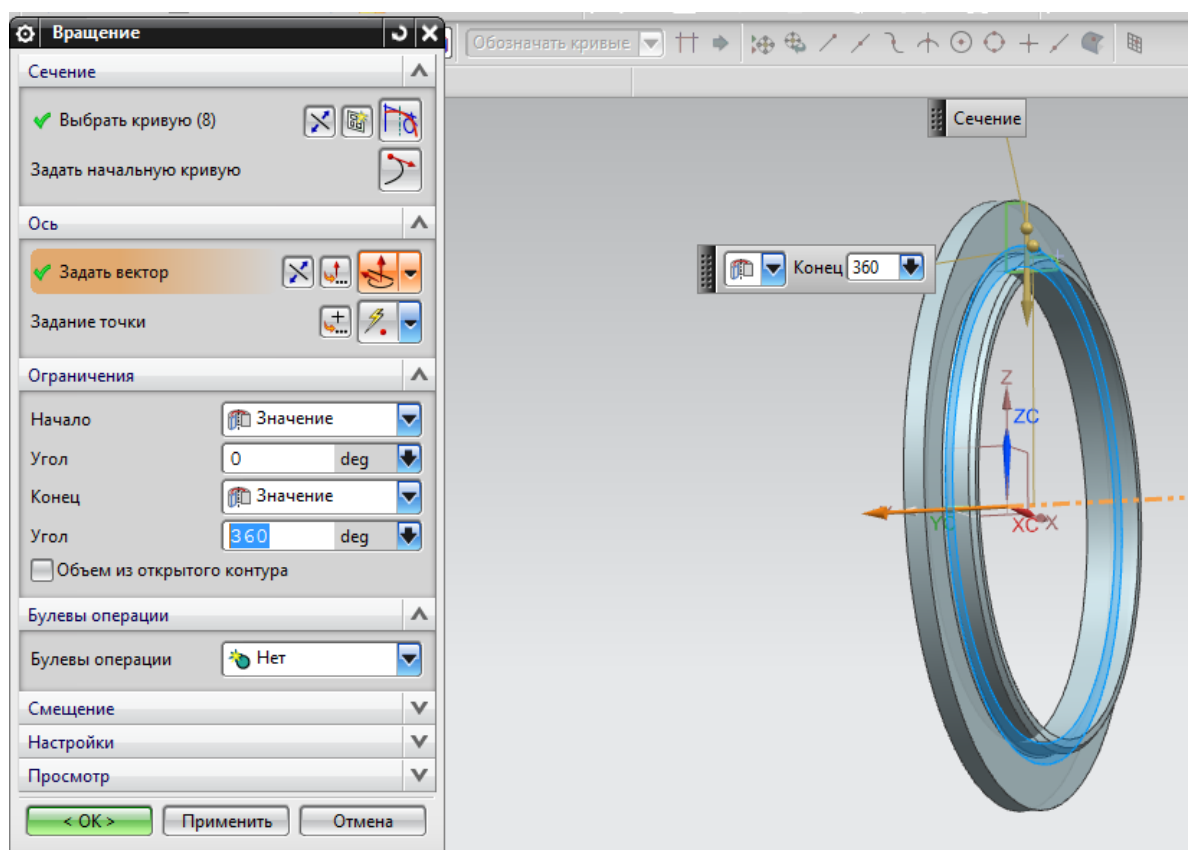


Рис. 1.69. Выполнение команды «Вращение»

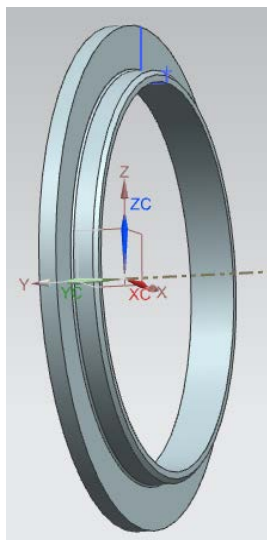


Рис. 1.70. Результат выполнения команды «Вращение»

Методика создания отверстий и выкружек возле них аналогична методике создания аналогичных элементов корпуса. В результате построений получается готовая модель (рис. 1.71).

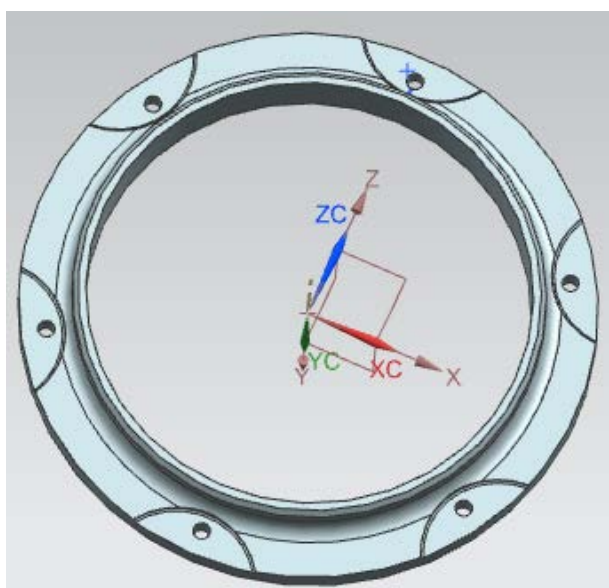


Рис. 1.71. 3D модель фланца

2. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ СБОРОК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ NX

2.1. Общие сведения

Значительная часть проектируемых изделий являются сборочными единицами (далее – сборки). Для моделирования таких изделий в NX применяется одноименный модуль «Сборки» [4, 5].

В NX файл сборки содержит компоненты, являющиеся ссылкой на соответствующие файлы деталей. Таким образом, геометрия компонентов не хранится в файле сборки, что в значительной мере повышает производительность системы. **Сборка** представляет собой иерархическую структуру, на разных уровнях которой находятся компоненты – подсборки (сборочные единицы различного порядка) или детали. Эта структура формируется в файле сборки (верхнего уровня) [4, 5].

При моделировании сборочных единиц используются несколько способов построения – «сверху вниз», «снизу вверх» и смешанный.

При использовании способа «снизу вверх» структура сборки получается в «автоматическом» режиме при добавлении компонентов в сборку. Данный способ достаточно удобно применять при создании моделей сборок относительно простых изделий с малым количеством компонентов, когда все изменения в сборке отслеживаются одним-двумя конструкторами [4, 5].

В случае использования способа «сверху вниз» разработка начинается с моделирования структуры сборки, затем осуществляется постепенное наполнение сборки геометрией ее компонентов [4, 5].

На практике чаще всего используется смешанный способ, представляющих собой комбинацию первых двух. Так, при росте числа компонентов возникают значительные трудности, связанные со слож-

ностью согласования геометрии компонентов в сборке. В таком случае при формировании сборки рекомендуется перейти от способа «снизу вверх» к способу «сверху вниз», постепенно детализируя форму и состав изделия [4, 5].

Благодаря использованию различных механизмов для управления структурой и представлением данных сборки, в NX возможно создание многоуровневых сборок с фактически неограниченным количеством компонентов. К таким механизмам относятся: развитые средства поиска, отслеживание и управление изменениями, управление загрузкой и отображением компонентов и др. [4, 5].

Каждое тело в трехмерном пространстве имеет 6 степеней свободы. Оно может перемещаться относительно трех координатных осей и вращаться вокруг каждой из них. Сопряжение деталей в сборочной единице осуществляется путем приведения в соприкосновение их поверхностей (осей), выполняющих функцию конструкторских баз, каждая из которых лишает деталь определенного числа степеней свободы [13]. Для базирования деталей типа короткого цилиндра обычно выбирают комплект, состоящий из установочной, двойной опорной и опорной баз.

2.2. Моделирование корпуса в сборе

Процесс создания сборочной единицы (сборки) в САПР Siemens NX проиллюстрируем примером разработки корпуса в сборе (рис. 2.1).

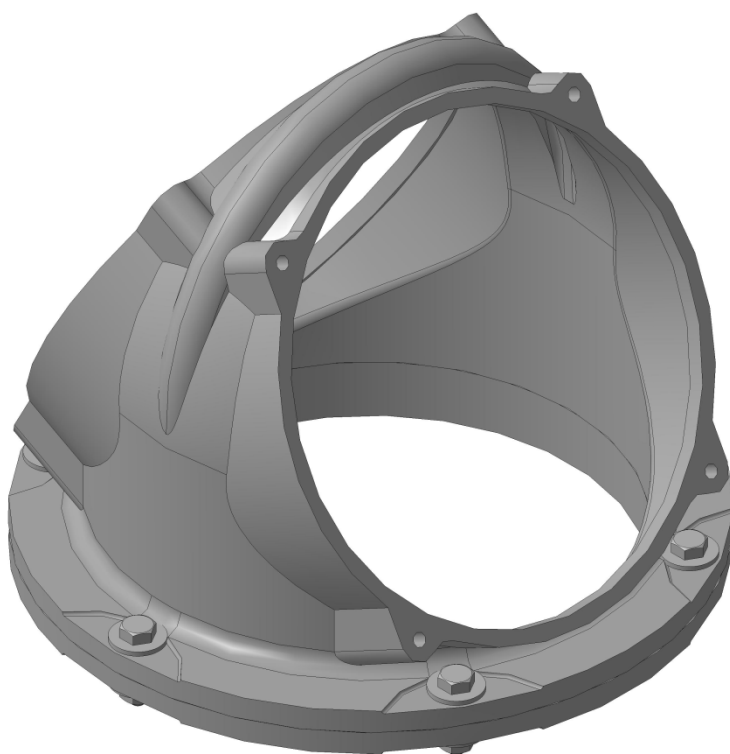


Рис. 2.1. Эскиз корпуса в сборе

Для организации сборки в Siemens NX следует создать новый файл 3D сборки. Для этого выбирают на панели **Файл** → **Новый** → **Сборка** → **ОК** (рис. 2.2).

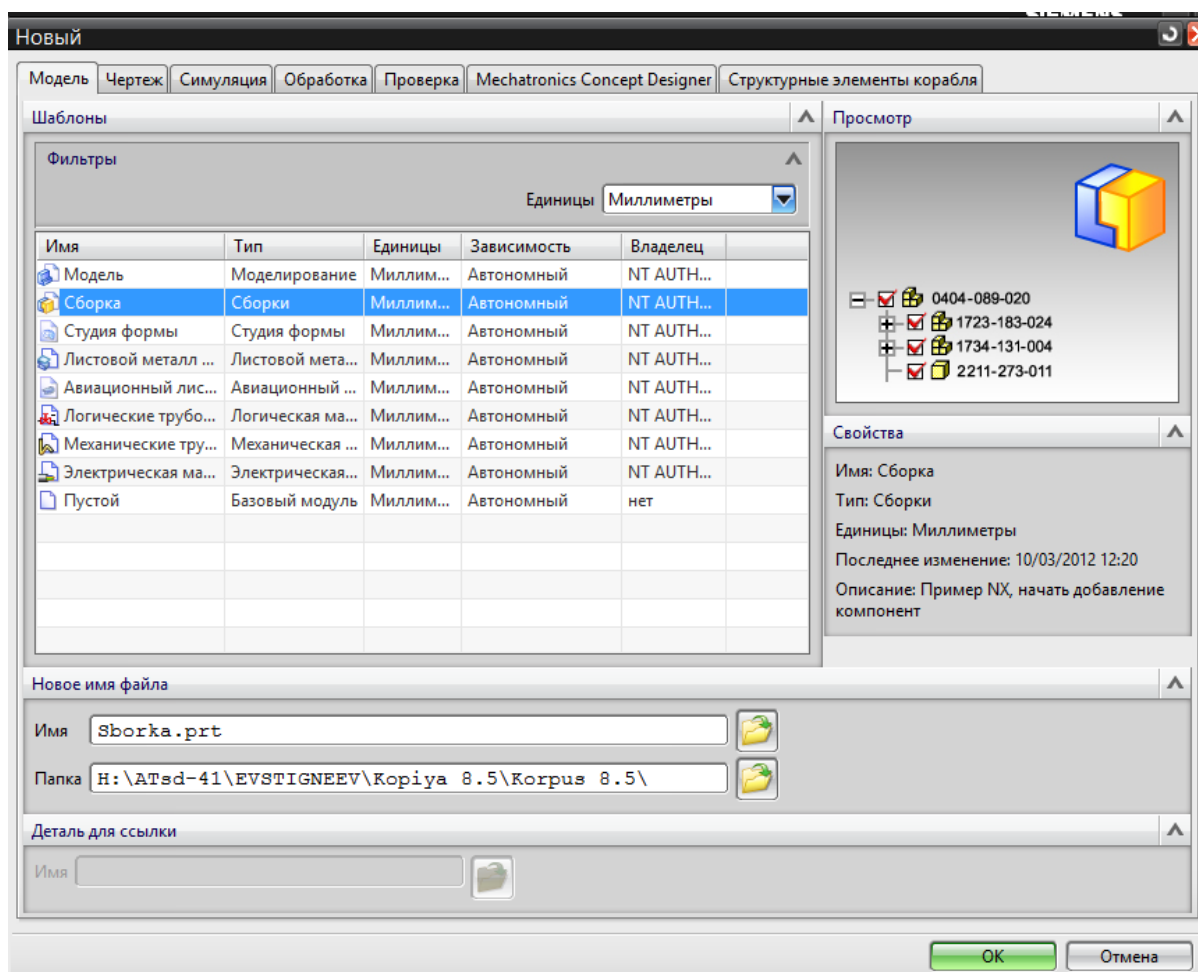
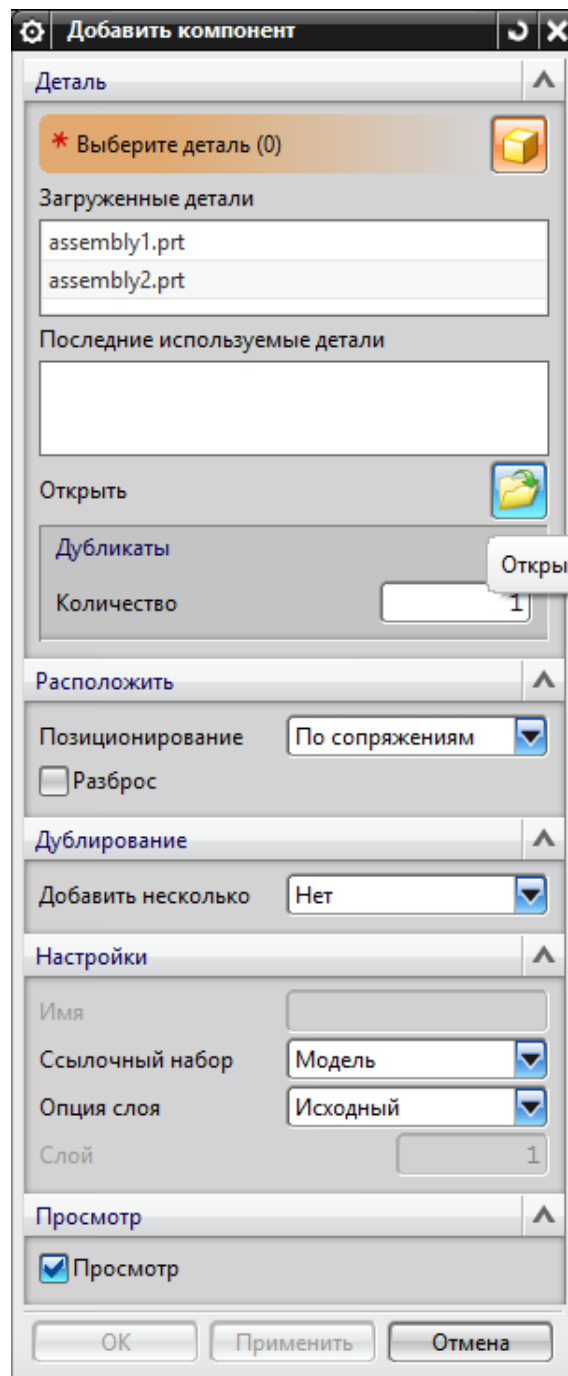


Рис. 2.2. Создание файла сборки

После нажатия кнопки **ОК** появляется диалоговое окно, в котором выбирают кнопку **Открыть** для загрузки в пространство сборки первой модели (рис. 2.3). Первой рекомендуют загружать модель базирующей детали, определяющей положение других деталей и сборочных единиц (корпус, станина, основание и др.). Такой подход значительно упрощает процесс выполнения сборки.

В папке находят модель корпуса и открывают её (рис. 2.4).



**Рис. 2.3. Диалоговое окно загрузки модели детали
в пространство сборки**

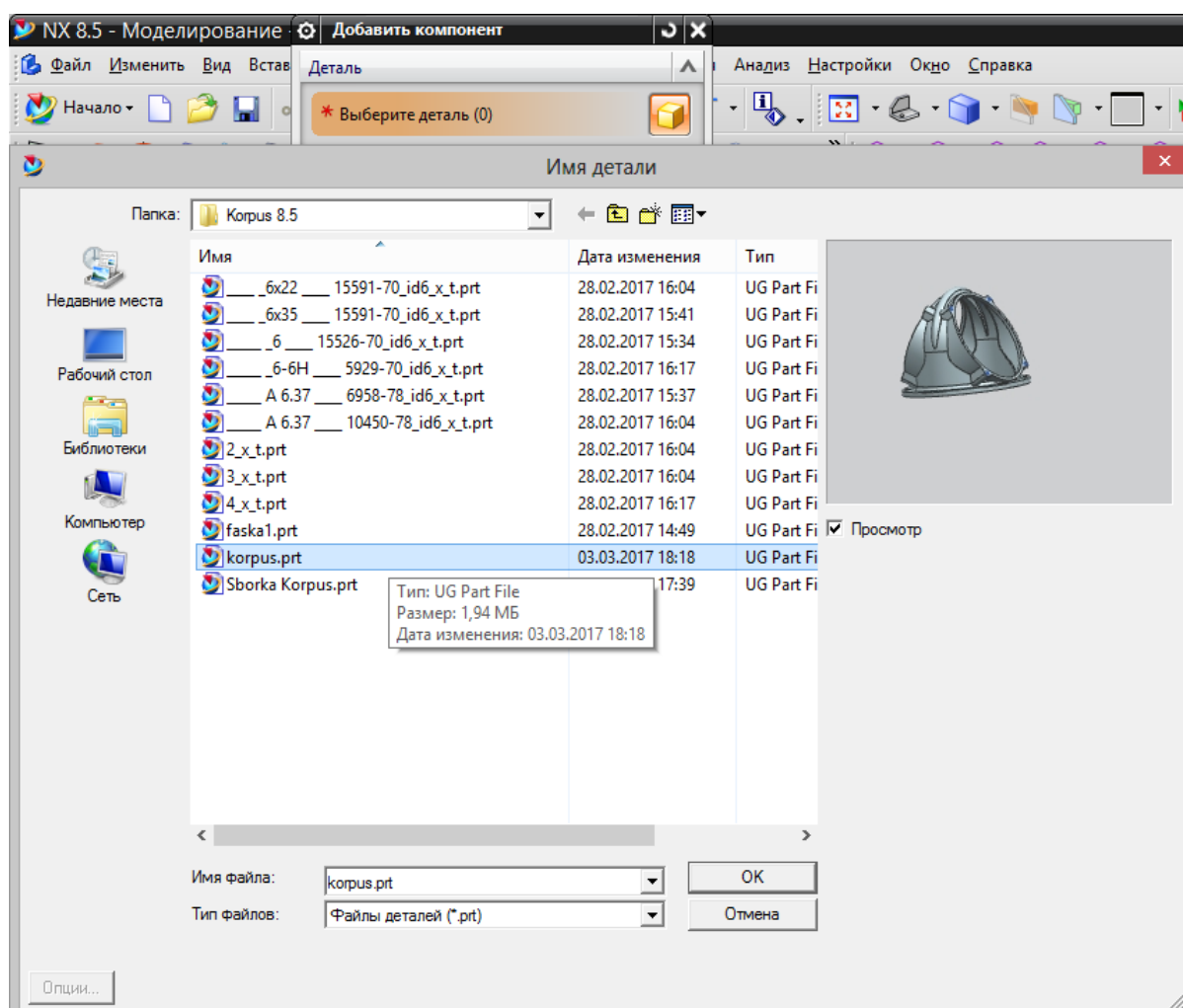


Рис. 2.4. Открытие 3D модели корпуса

В появившемся диалоговом окне в группе **Расположить** → **Позиционирование** выбирают **Начало абсолютной системы координат** и нажимают **Применить** (рис. 2.5). При этом происходит совмещение систем координат сборки и выбранной ранее модели корпуса (рис. 2.6).

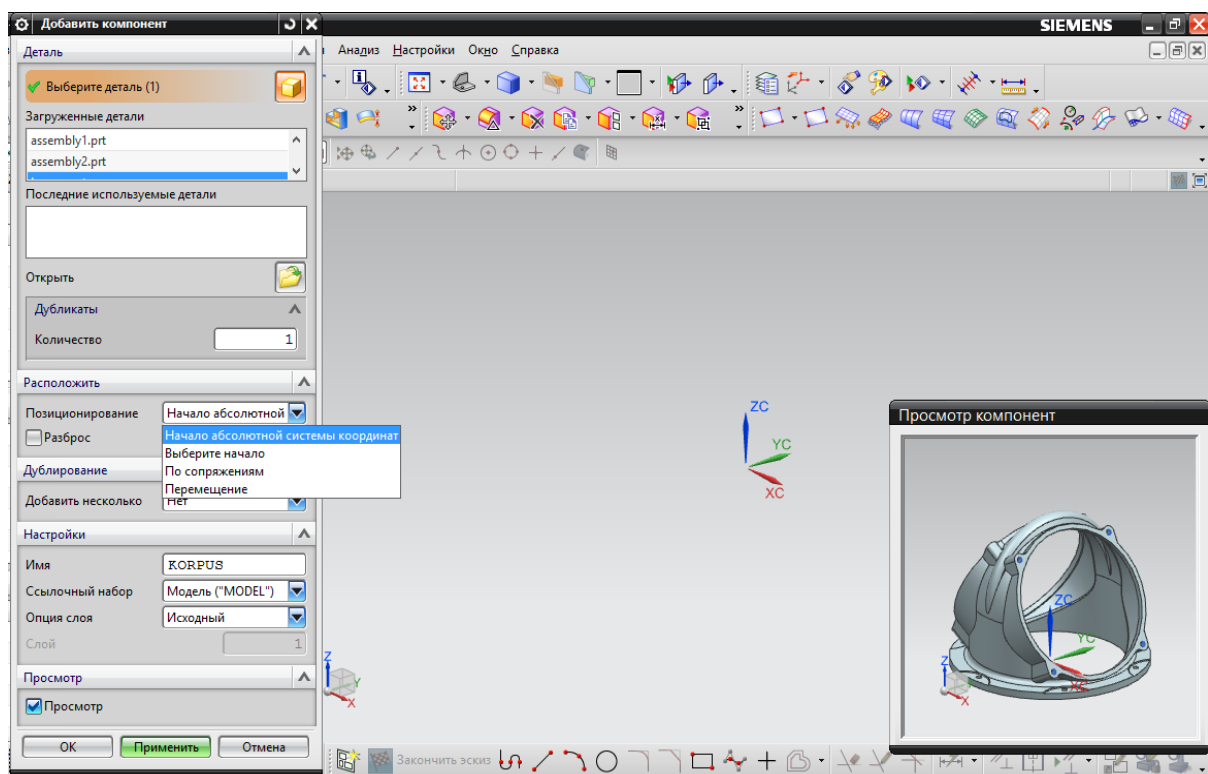


Рис. 2.5. Задание расположения корпуса в пространстве сборки

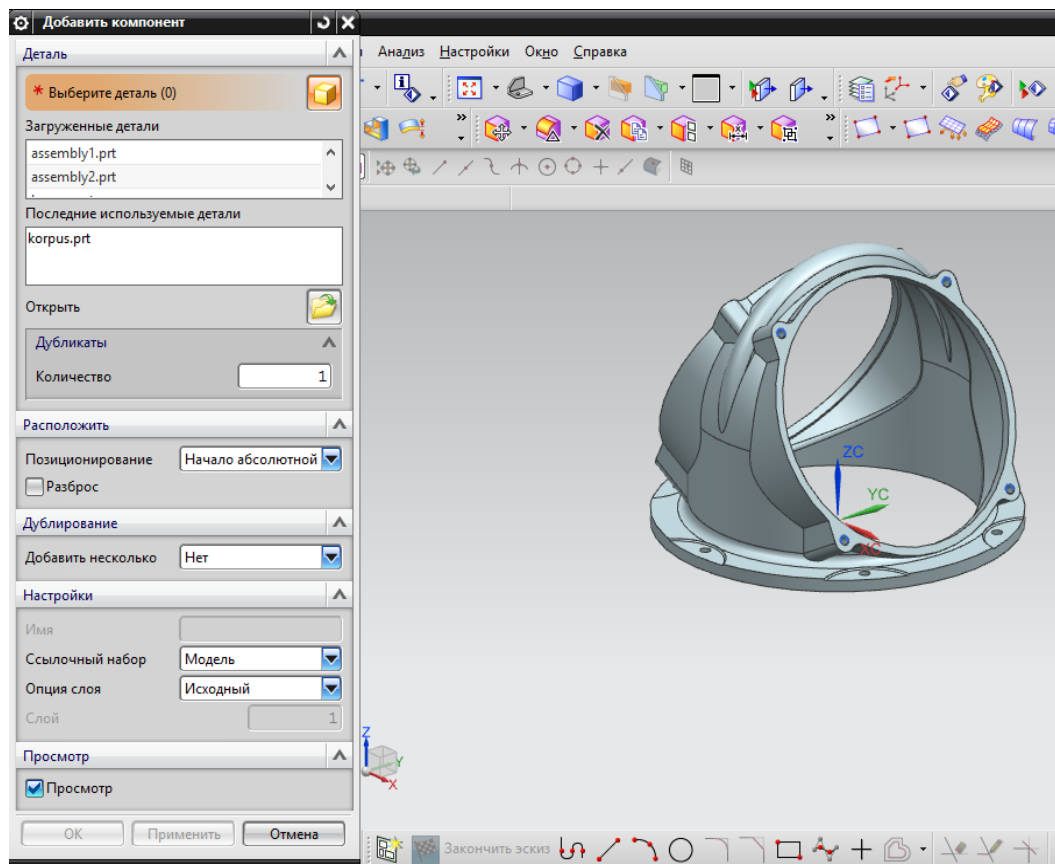


Рис. 2.6. Результат позиционирования корпуса в пространстве сборки

Далее, применяя команду **Сопряжения сборки** (рис. 2.7), в группе **Тип** выбирают **Фиксация** (рис. 2.8) и в качестве объекта выбирают **Корпус** (рис. 2.9). После выполнения данной последовательности действий любые перемещения выбранного компонента сборки относительно начала системы координат становятся невозможными.

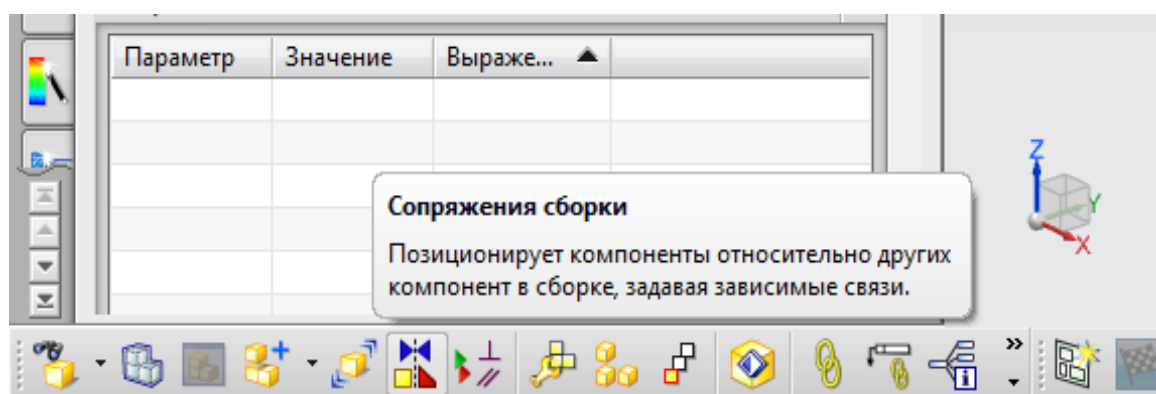


Рис. 2.7. Команда «Сопряжения сборки»

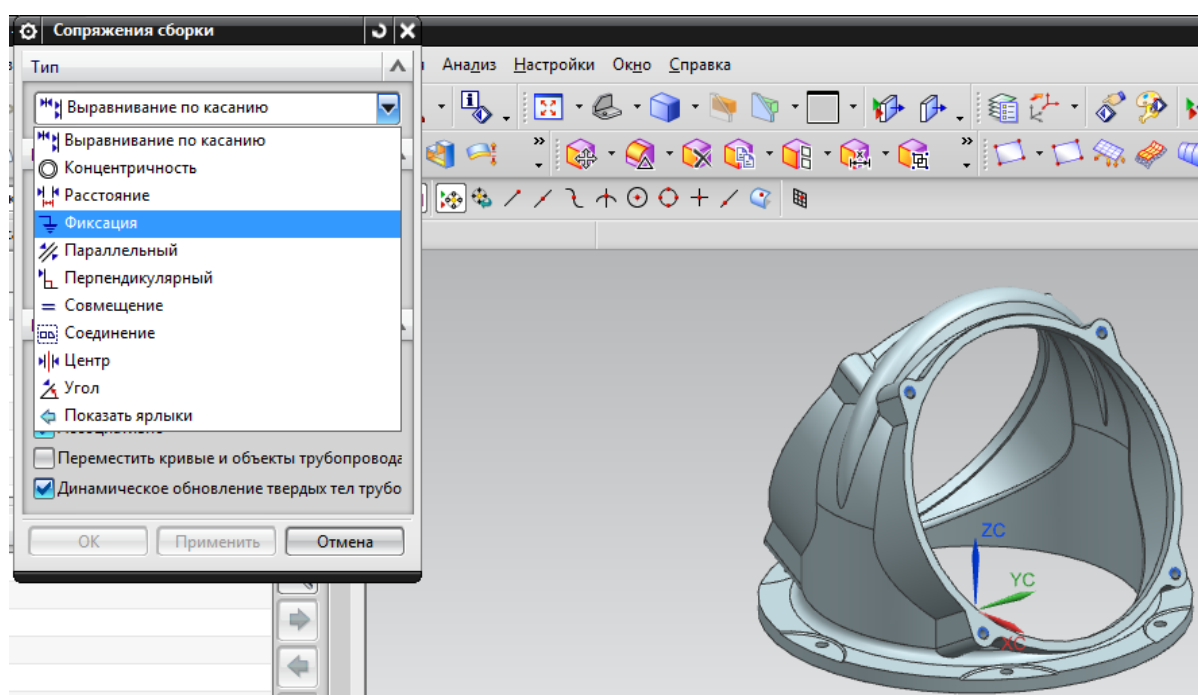


Рис. 2.8. Включение фиксации объекта

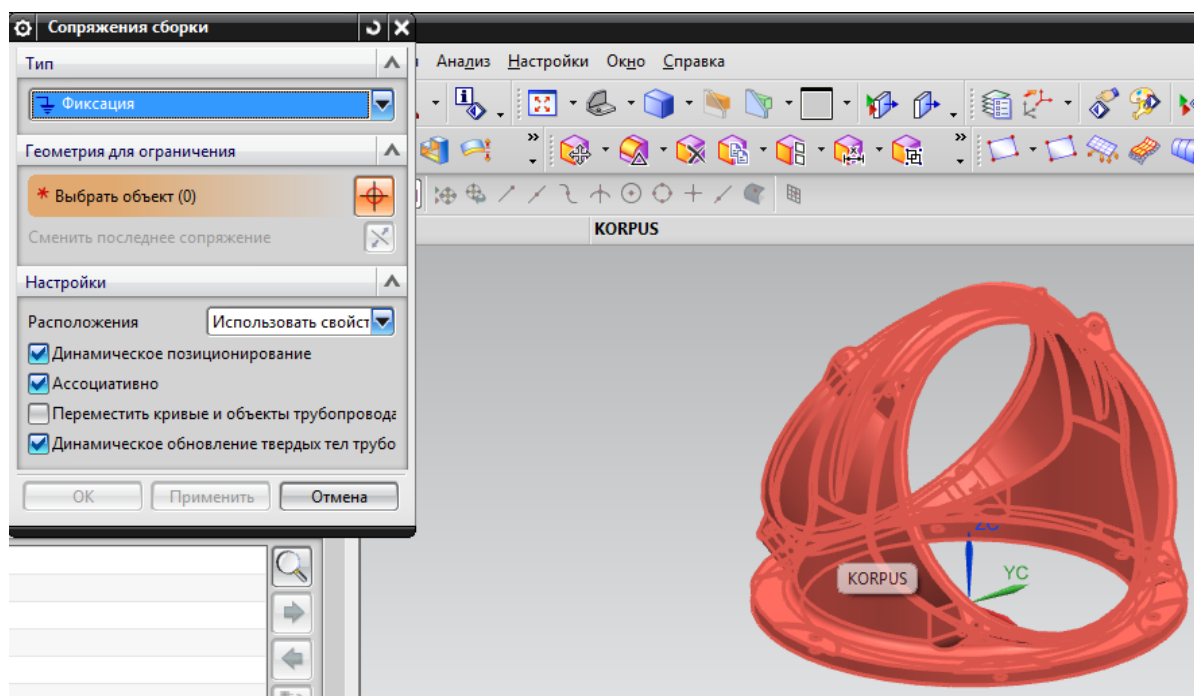


Рис. 2.9. Выбор объекта фиксации (корпус)

Добавляется очередной компонент сборки (в нашем случае это фланец) с помощью команды **Добавить компонент** (рис. 2.10).

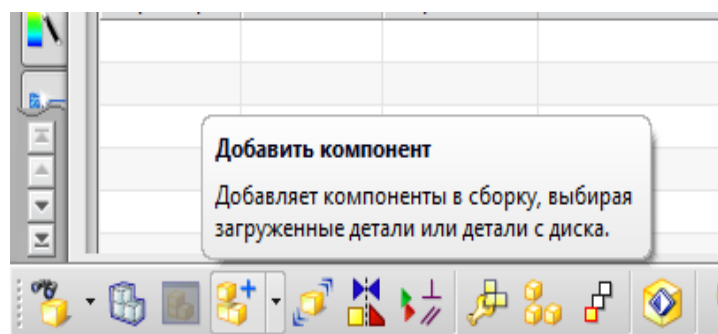


Рис. 2.10. Команда «Добавить компонент»

С помощью команды **Открыть** в появившемся диалоговом окне открывают следующую деталь – **Фланец** (рис. 2.11).

Из рис. 2.1 следует, что для базирования фланца относительно корпуса используется комплект баз, состоящий из установочной, двойной опорной и опорной.

В группе **Расположить** меню добавления компонента выбирают **По сопряжениям** и нажимают **Применить** (рис. 2.12).

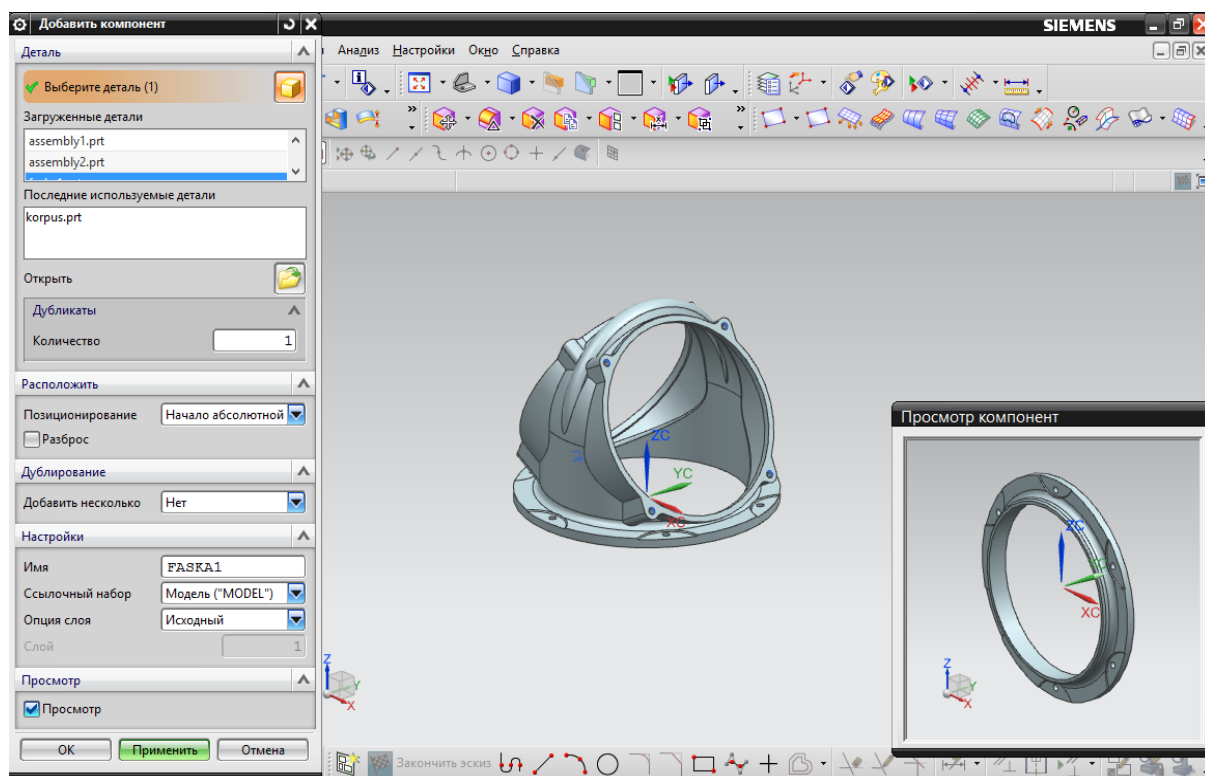


Рис. 2.11. Выбор добавляемого компонента сборки (фланец)

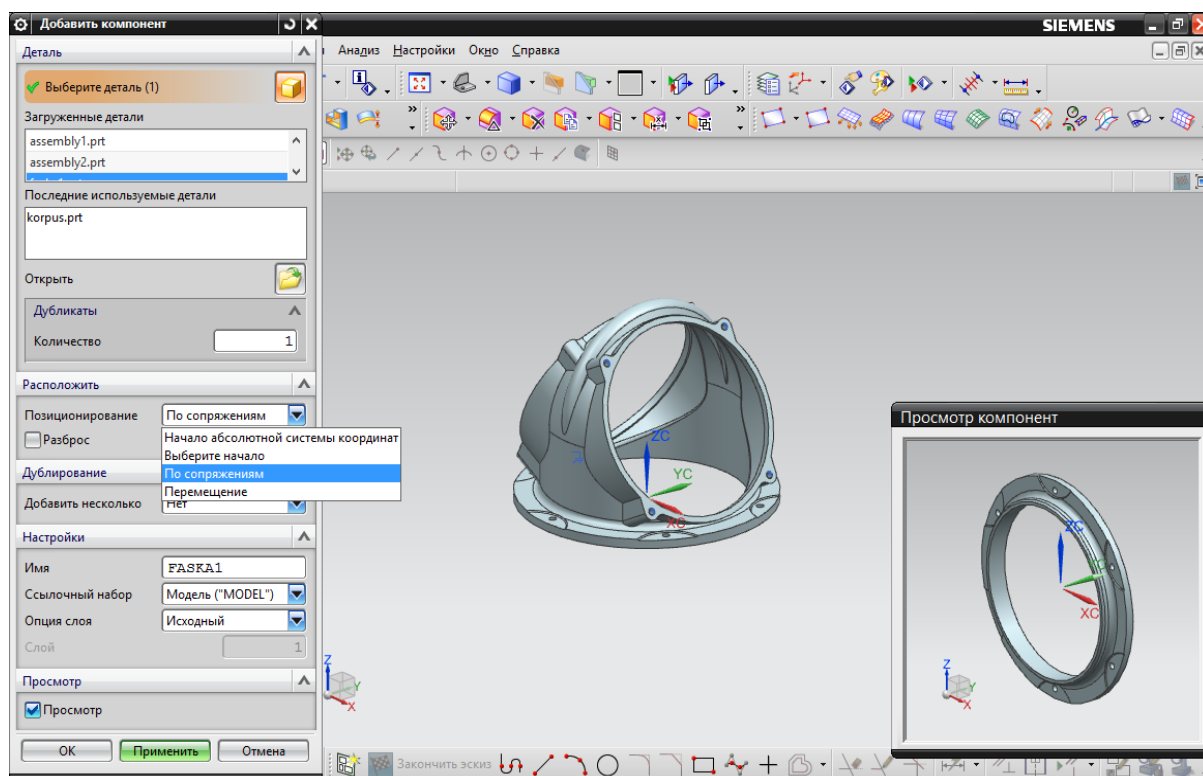


Рис. 2.12. Выбор способа расположения фланца в пространстве сборки

В появившемся диалоговом окне **Сопряжения сборки** в группе **Тип** выбирают **Выравнивание по касанию**, а в группе **Геометрия** для ограничения выбирают ориентацию **Касание** (рис. 2.13).

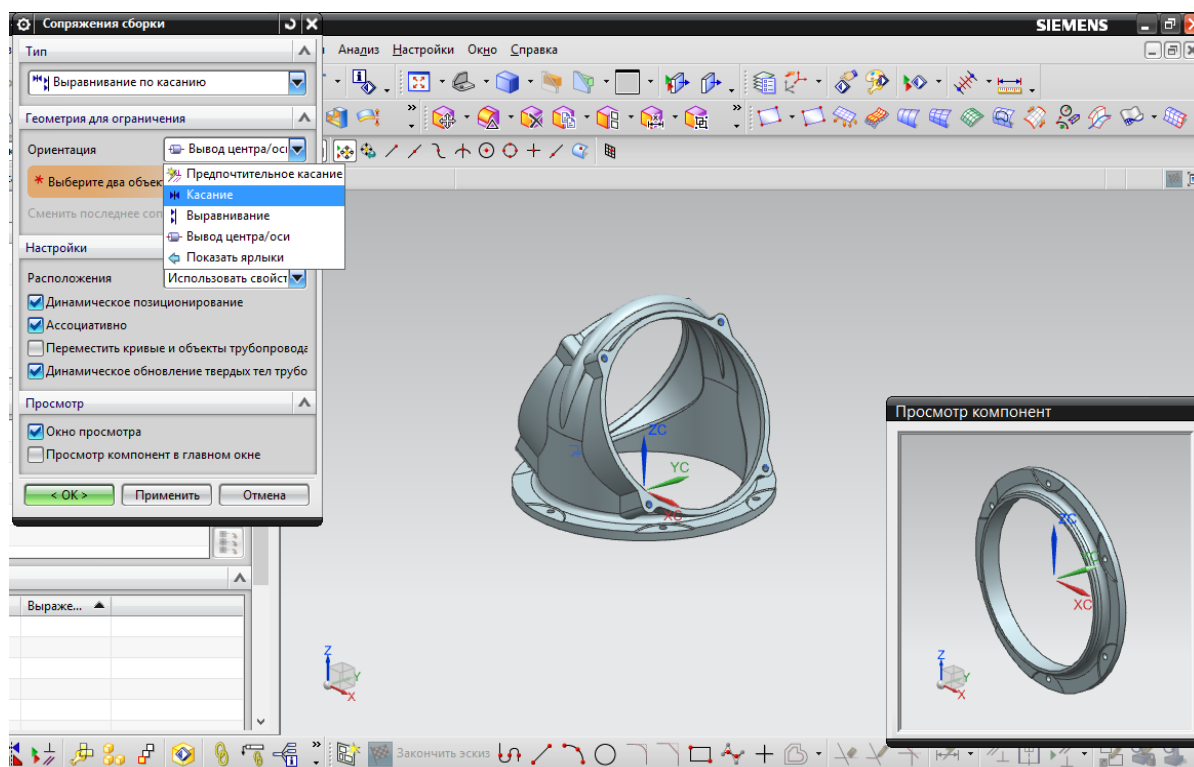


Рис. 2.13. Выбор типа сопряжения фланца с корпусом

Отмечают сопрягаемые поверхности на корпусе и фланце (отмечены красным цветом на рис. 2.14), что обеспечивает совпадение плоскостей, проходящих через указанные поверхности сопрягаемых деталей и использование поверхности фланца в качестве установочной базы, лишаящей фланец трех степеней свободы [13].

Для определения положения добавляемой детали (фланца) на вновь образованной плоскости сопряжения, в группе **Геометрия для ограничения** выбирают ориентацию **Вывод центра/оси** (рис. 2.15). Выбирают осевые линии деталей – фланца и корпуса (отмечены красным цветом на рис. 2.16), что сделает возможным использование оси фланца в качестве скрытой двойной опорной базы, лишаящей фланец двух степеней свободы.

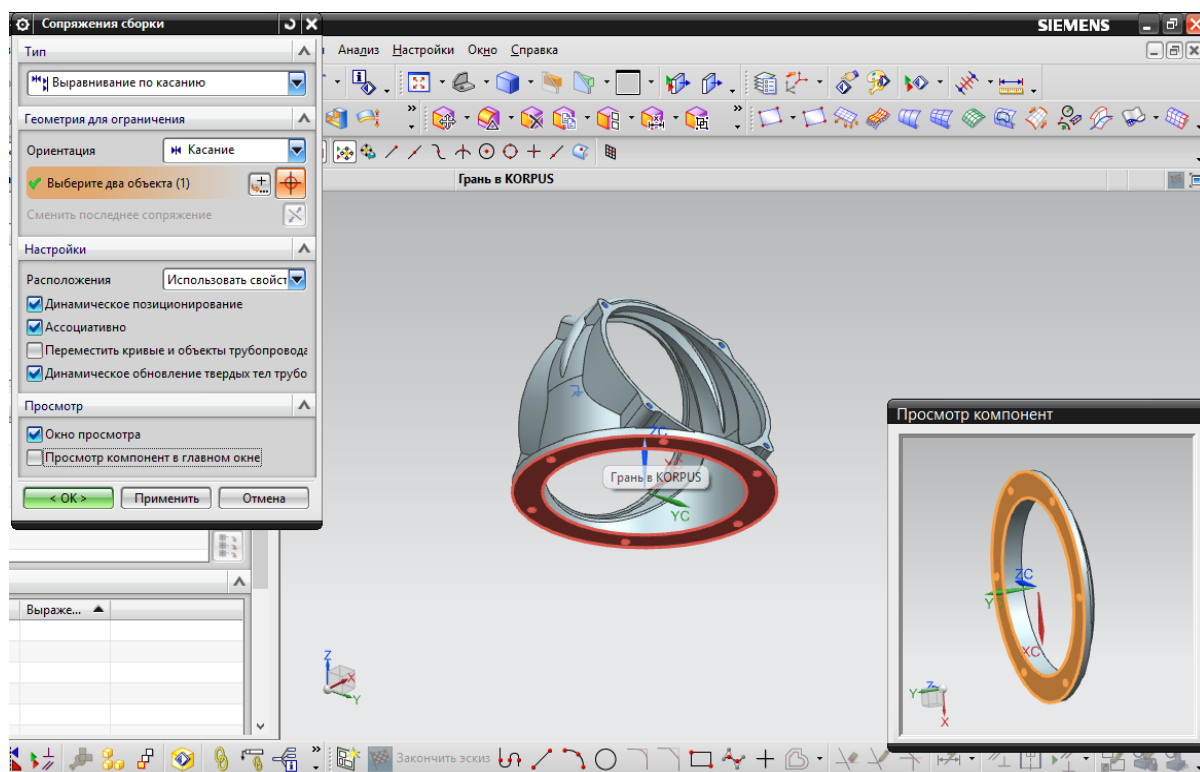


Рис. 2.14. Выбор сопрягаемых поверхностей фланца и корпуса

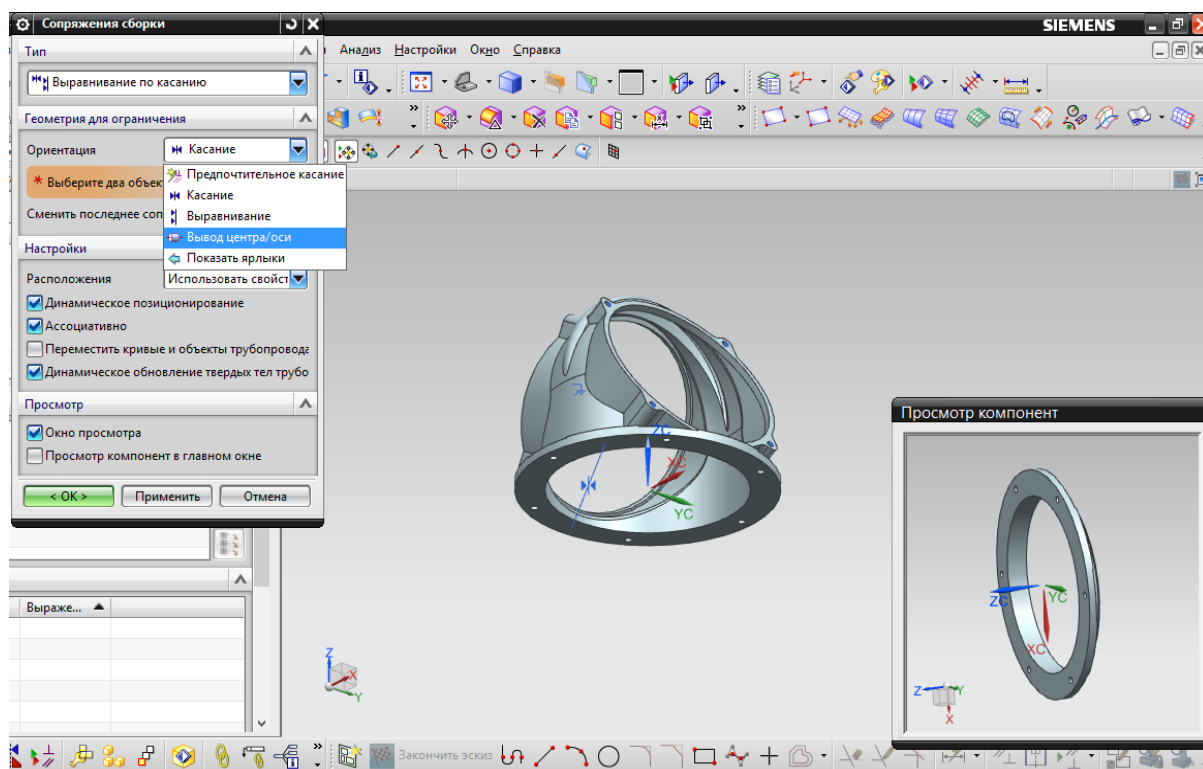
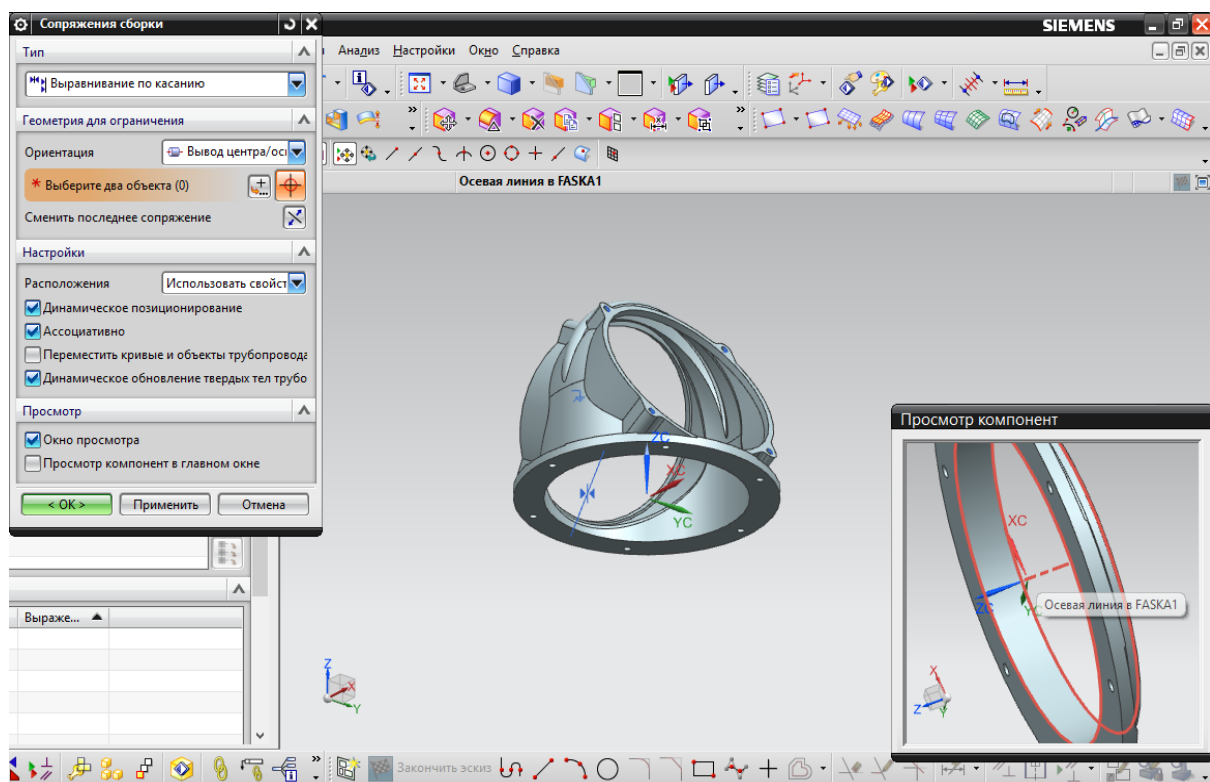
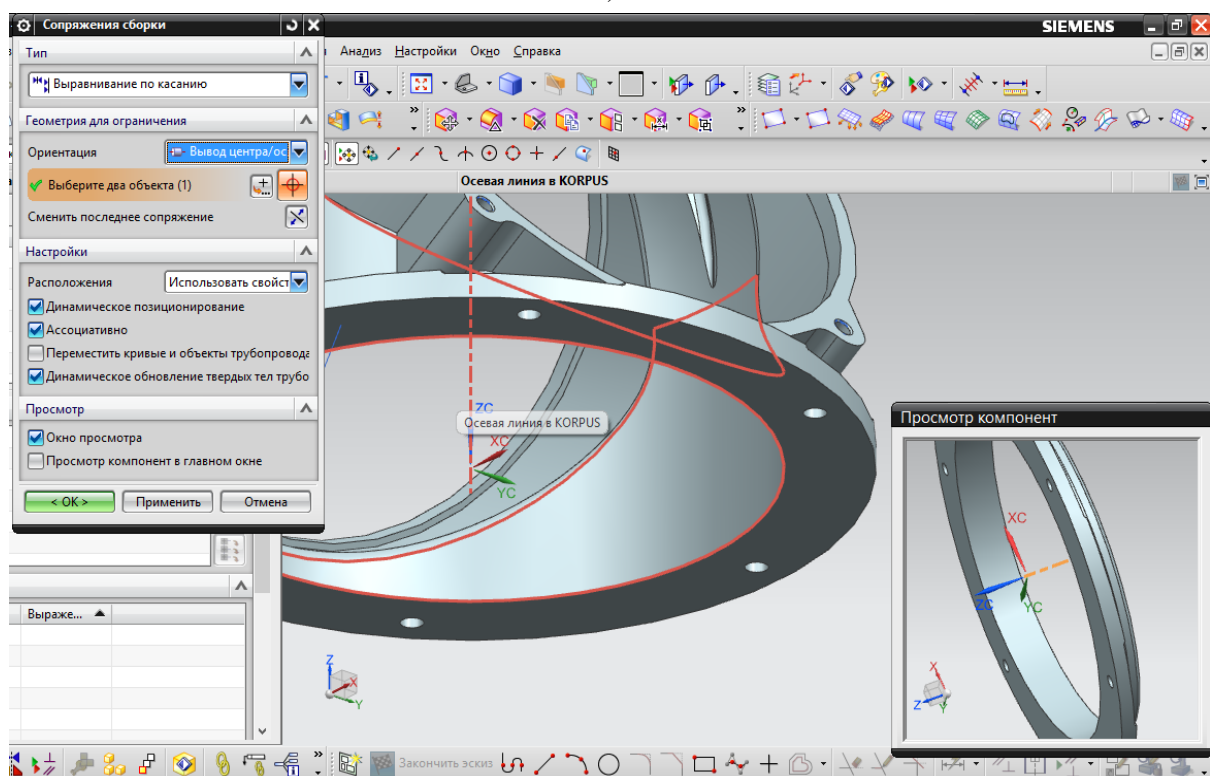


Рис. 2.15. Определение положения фланца относительно корпуса



а)

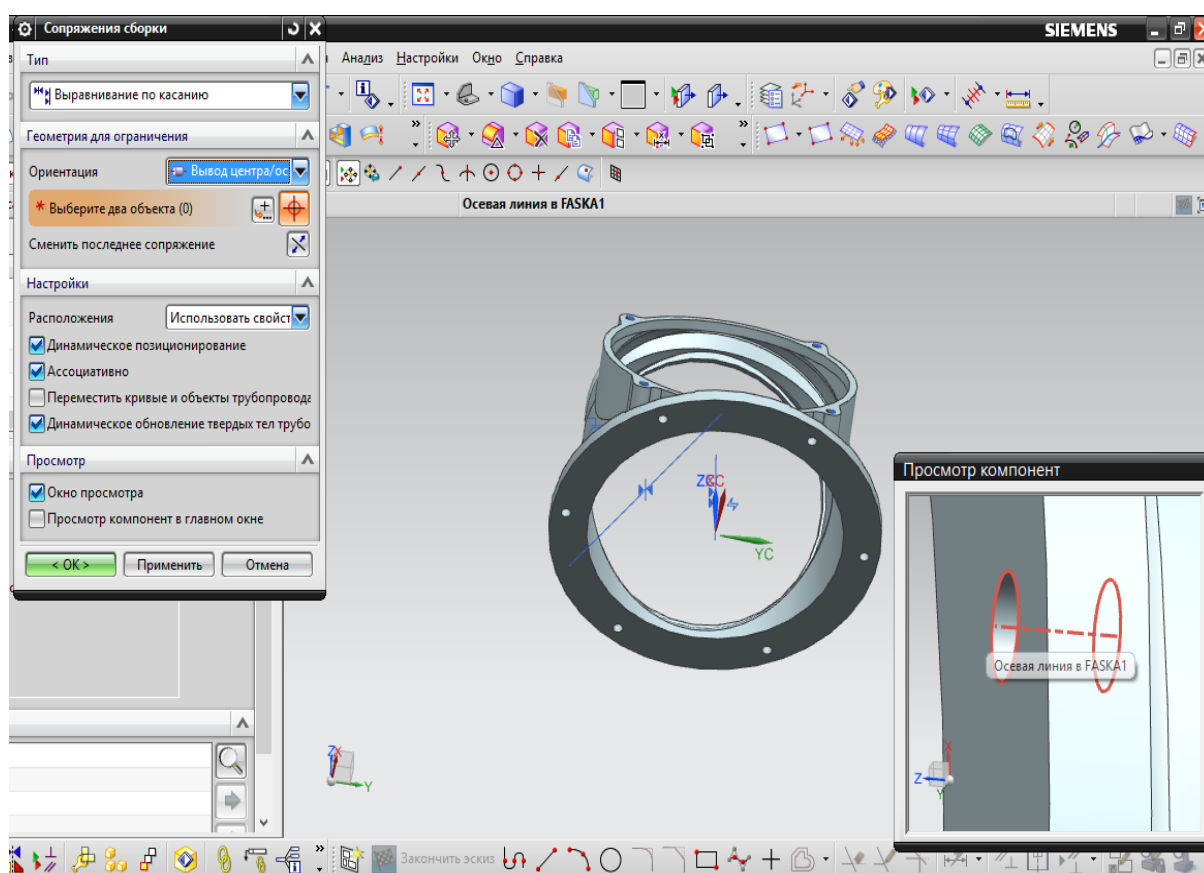


б)

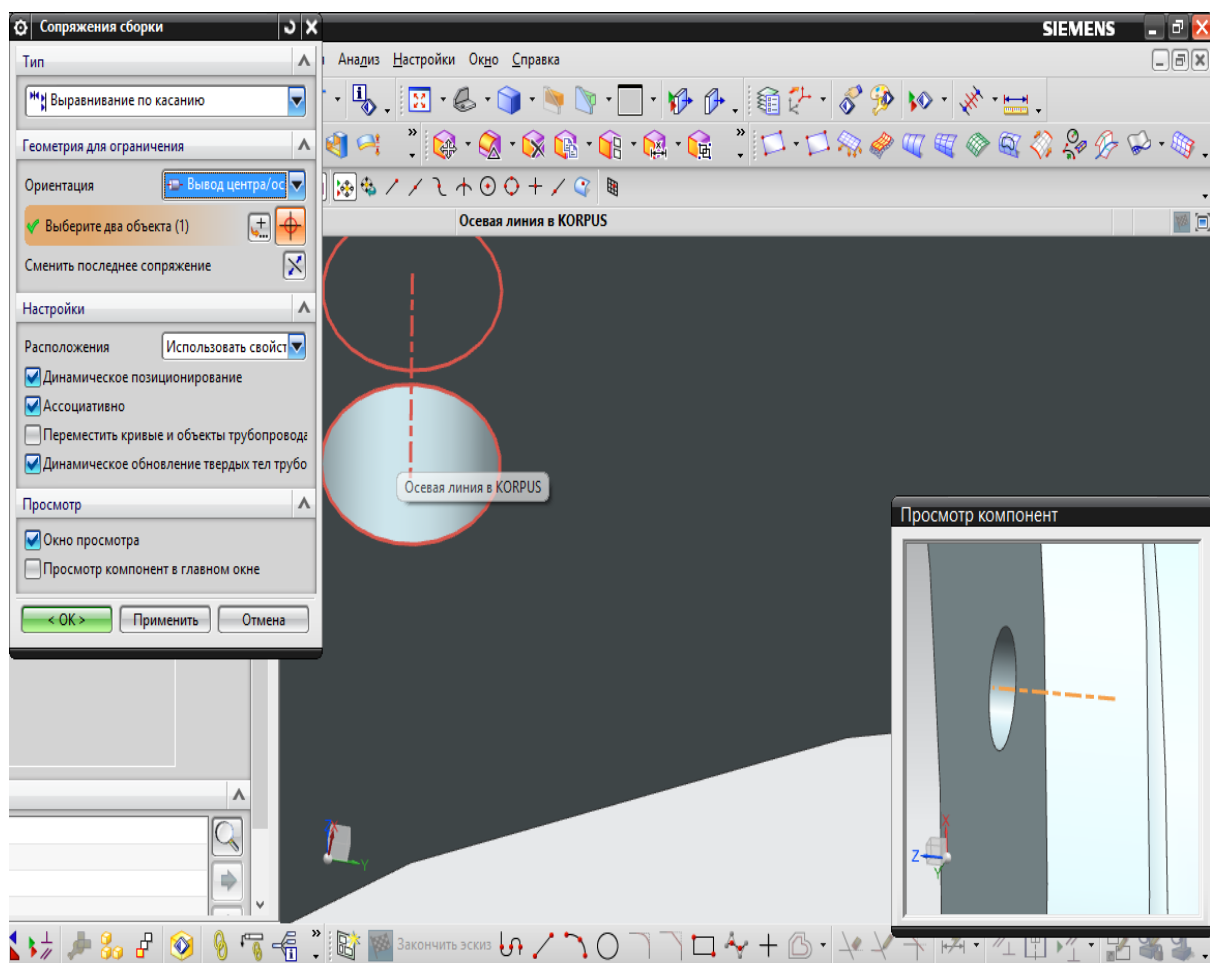
Рис. 2.16. Выбор сопрягаемых осей: а – на фланце; б – на корпусе

Для полного определения положения фланца относительно корпуса выбирают по одной оси крепежных отверстий на сопрягаемых деталях (отмечены красным цветом на рис. 2.17), реализуя недостающую опорную базу, определяющую угловое положение фланца.

Результатом выполнения операции после нажатия кнопки **ОК** является сборка корпуса и фланца (рис. 2.18).



a)



б)

Рис. 2.17. Выбор сопрягаемых осей крепежных отверстий:

a – на фланце; *б* – на корпусе

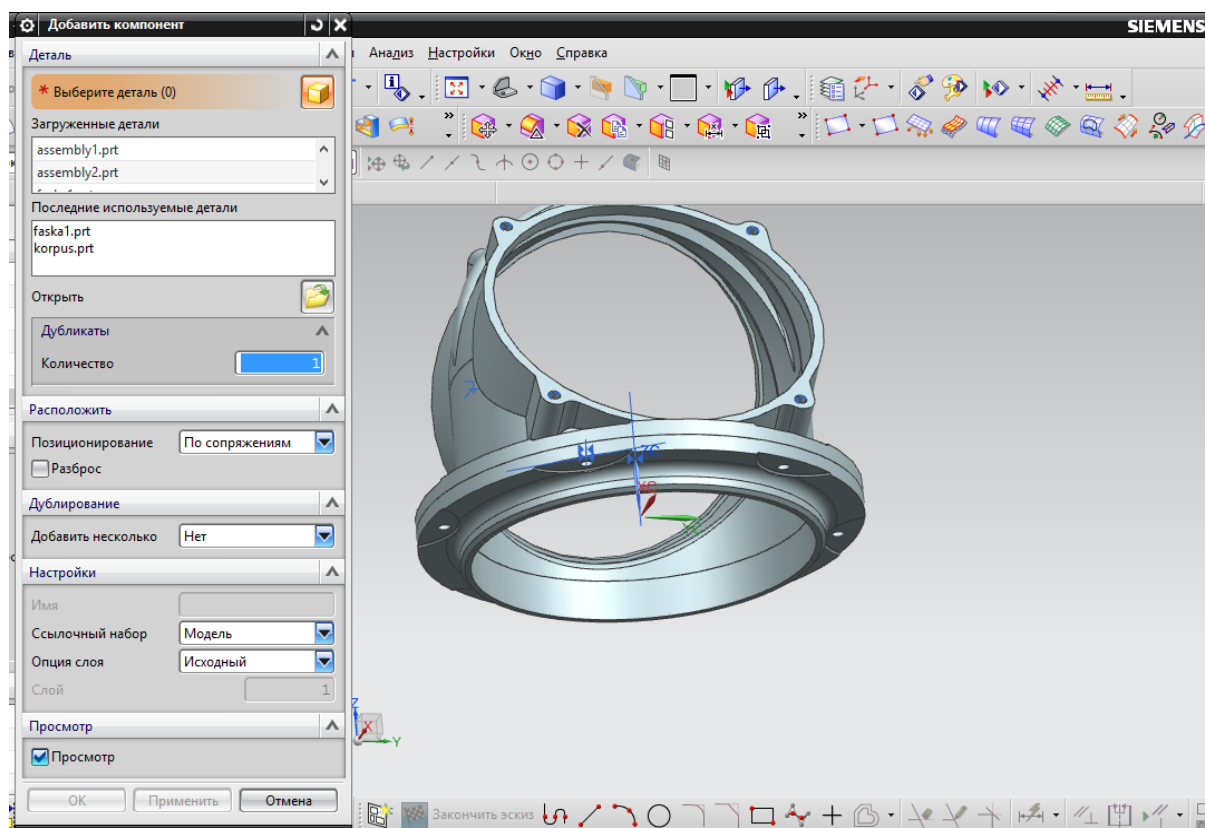
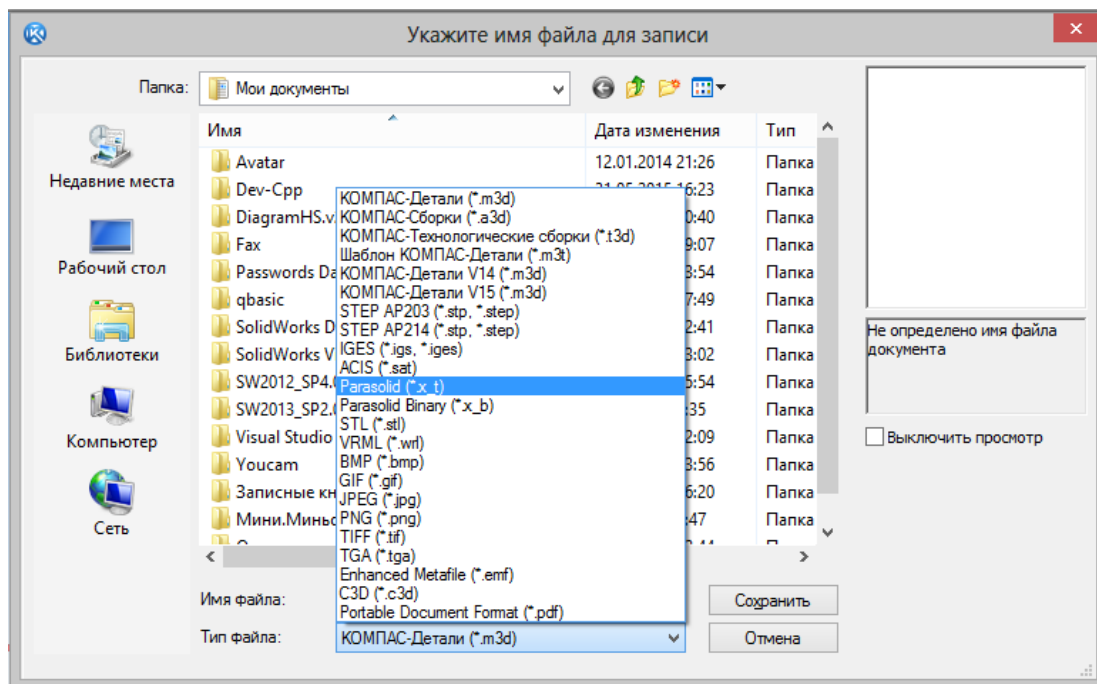
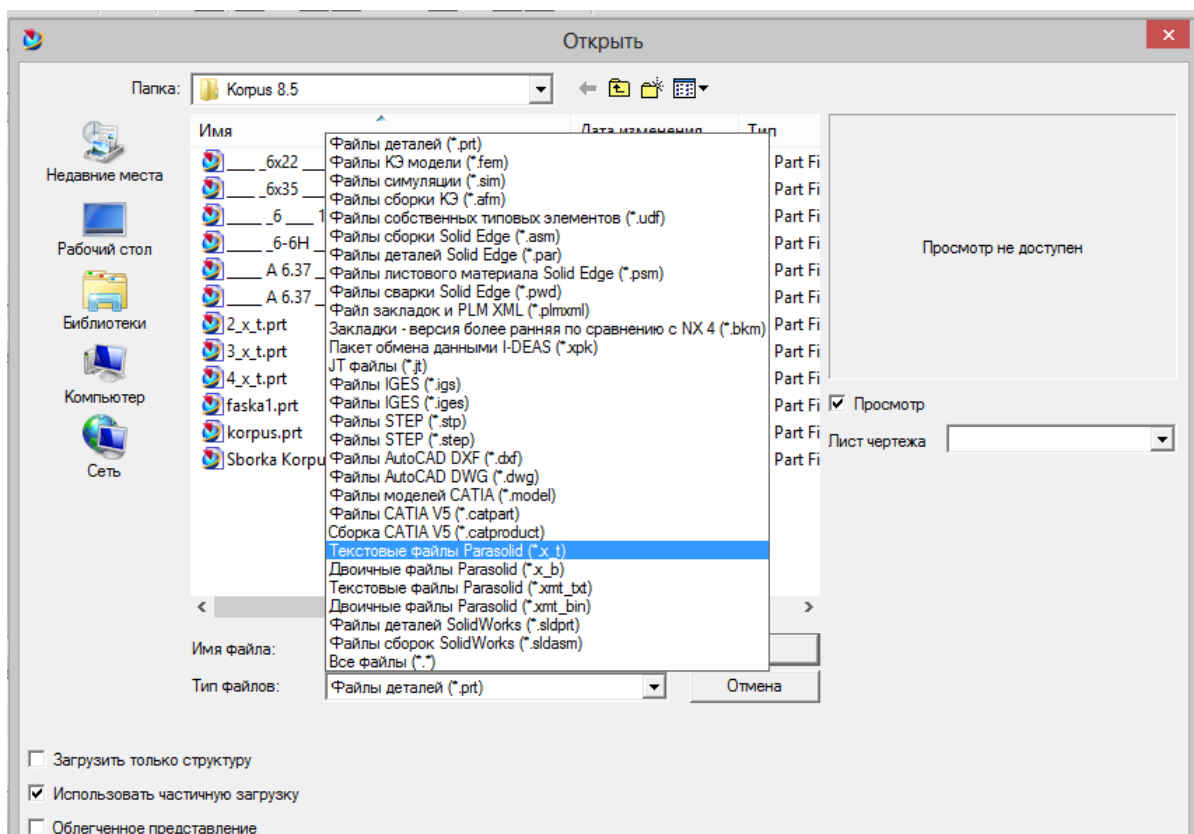


Рис. 2.18. Результат сопряжения деталей (корпуса и фланца)

Следующим этапом построения сборки является включение в нее стандартных крепежных элементов – болта, гайки и шайбы. Эти детали выбирают из библиотеки САПР «Компас-3D», сохраняя файлы деталей в формате **Parasolid** или **Step** и открывая их с помощью САПР «Siemens NX» (рис. 2.19).



а)



б)

Рис. 2.19. Перенос стандартных крепежных элементов из САПР «Компас-3D» в САПР «Siemens NX»: а – сохранение элементов в САПР «Компас-3D»; б – открытие элементов в САПР «Siemens NX»

В диалоговом окне **Добавить компонент** нажимают **Открыть** и выбирают болт (в группе **Расположить** выбирают позиционирование **По сопряжениям**), затем нажимают **Применить**, после чего появляется диалоговое окно **Сопряжения сборки** (рис. 2.20).

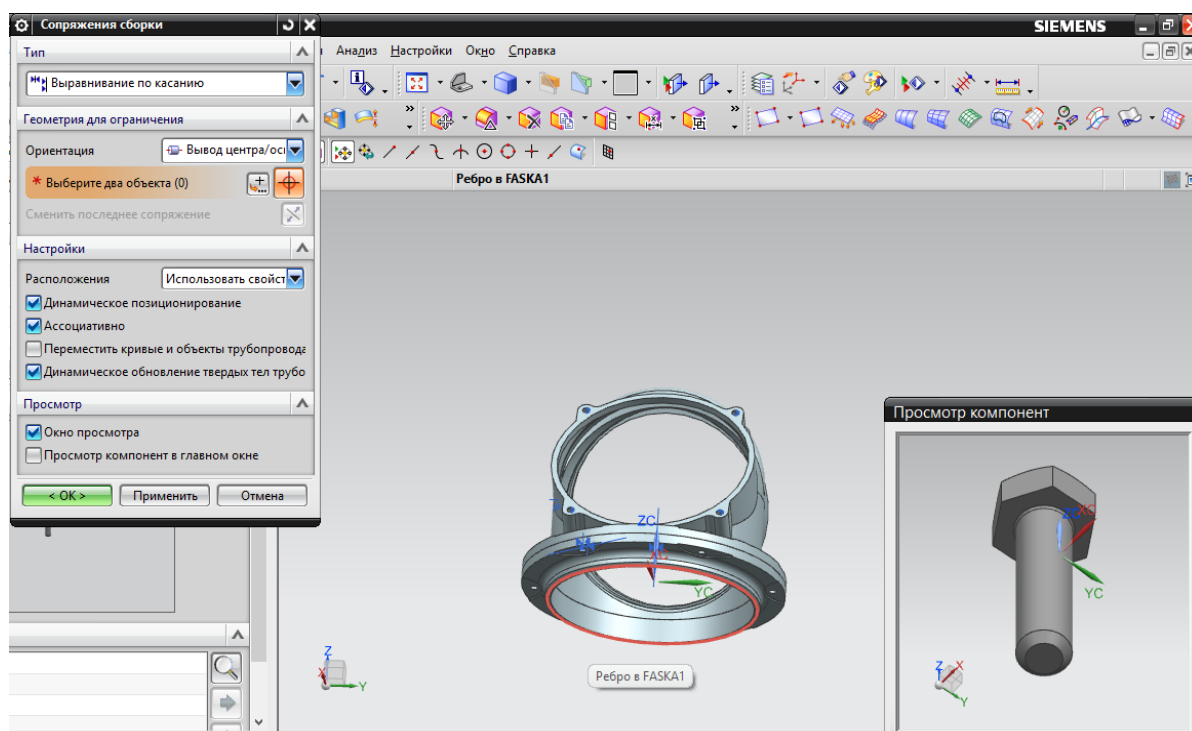
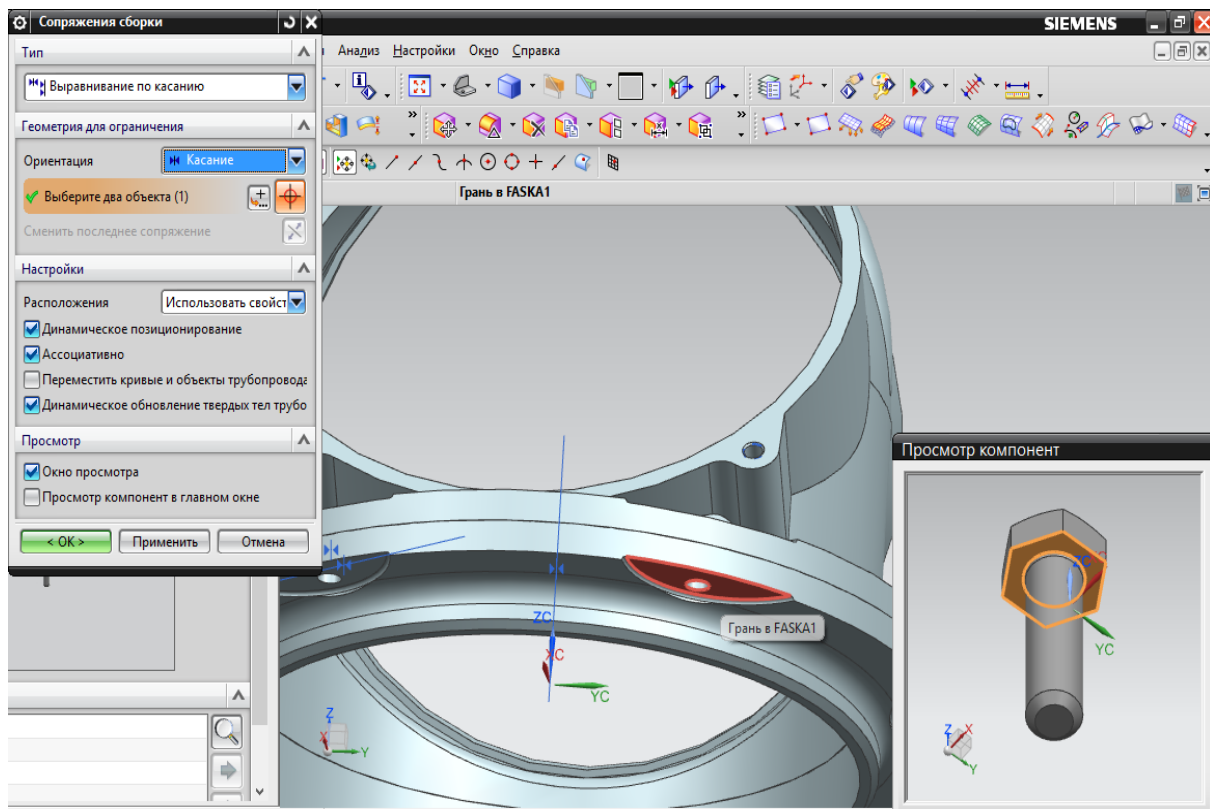


Рис. 2.20. Меню «Сопряжения сборки»

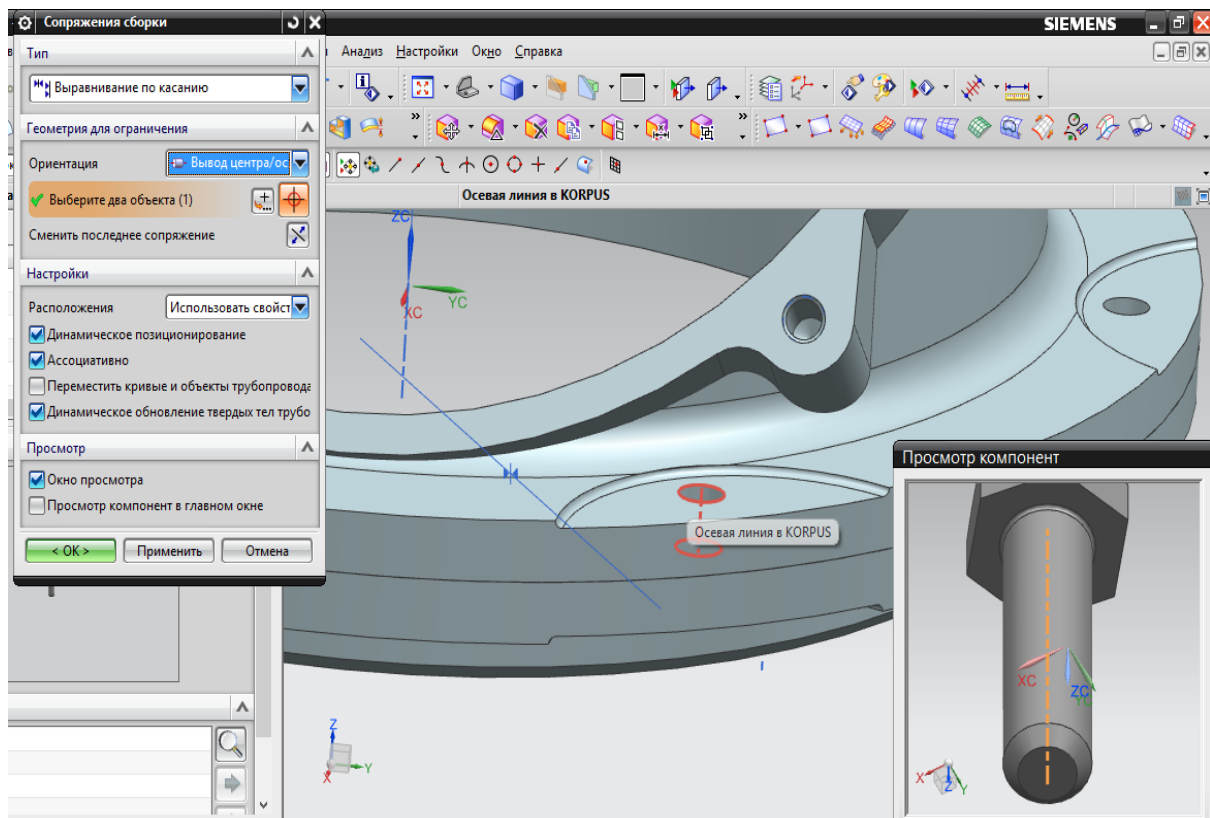
Отмечают на деталях сопрягаемые плоскости (отмечены оранжевым и красным цветом на рис. 2.21, а), а затем оси болта и отверстия (рис. 2.21, б).

Аналогичные действия производят для включения в сборку шайбы и гайки. Результат выполнения операции представлен на рис. 2.22.

Для включения стандартных крепежных элементов в остальные крепежные отверстия используется команда **Создать массив компонентов** (рис. 2.23).



а)



б)

Рис. 2.21. Сопрежение болта со сборкой: а – выбор сопрягаемых плоскостей деталей; б – выбор осей деталей

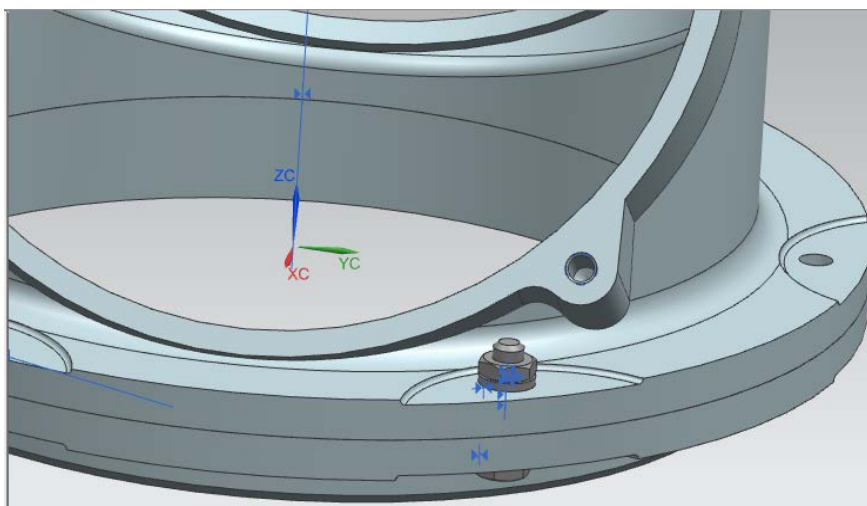


Рис. 2.22. Общий вид сборки

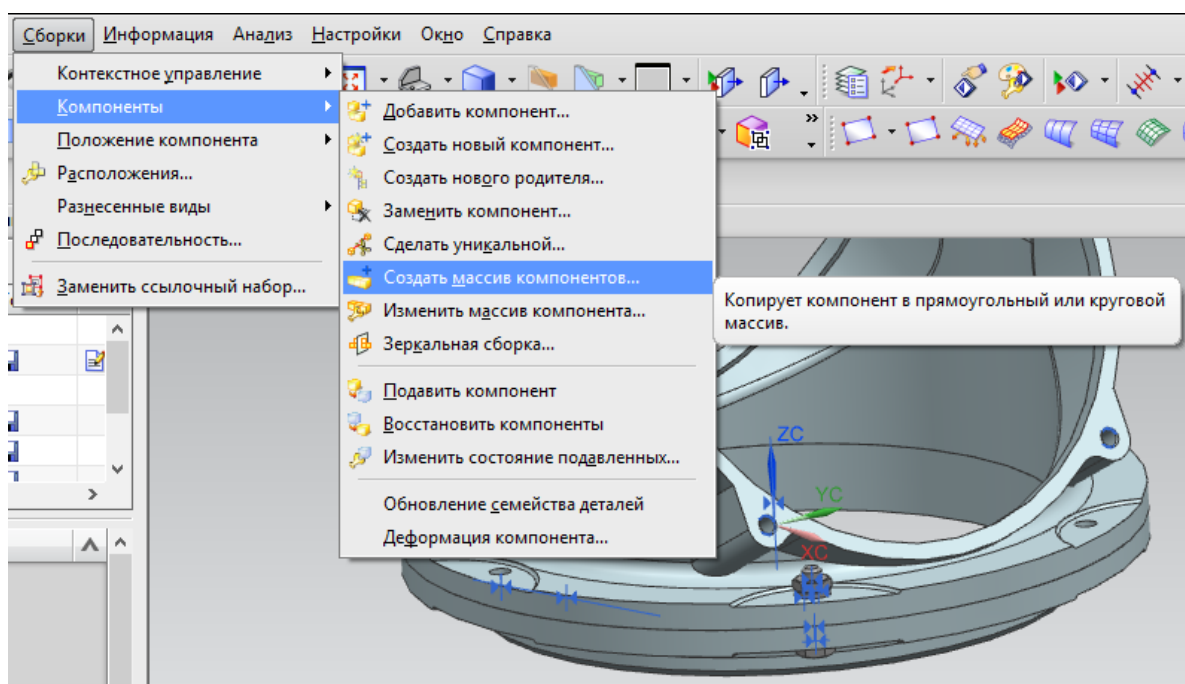


Рис. 2.23. Запуск команды «Создать массив компонентов»

После появления диалогового окна наводят курсор на изображение болта и после появления трех точек рядом с курсором нажимают на левую кнопку мыши и выбирают в появившемся окне название файла модели болта. В нашем случае болту было присвоено имя «3_X_T», хотя могло быть и другое, например «BOLT» (рис. 2.24).

После нажатия кнопки **ОК** выбирают круговой массив (рис. 2.25).

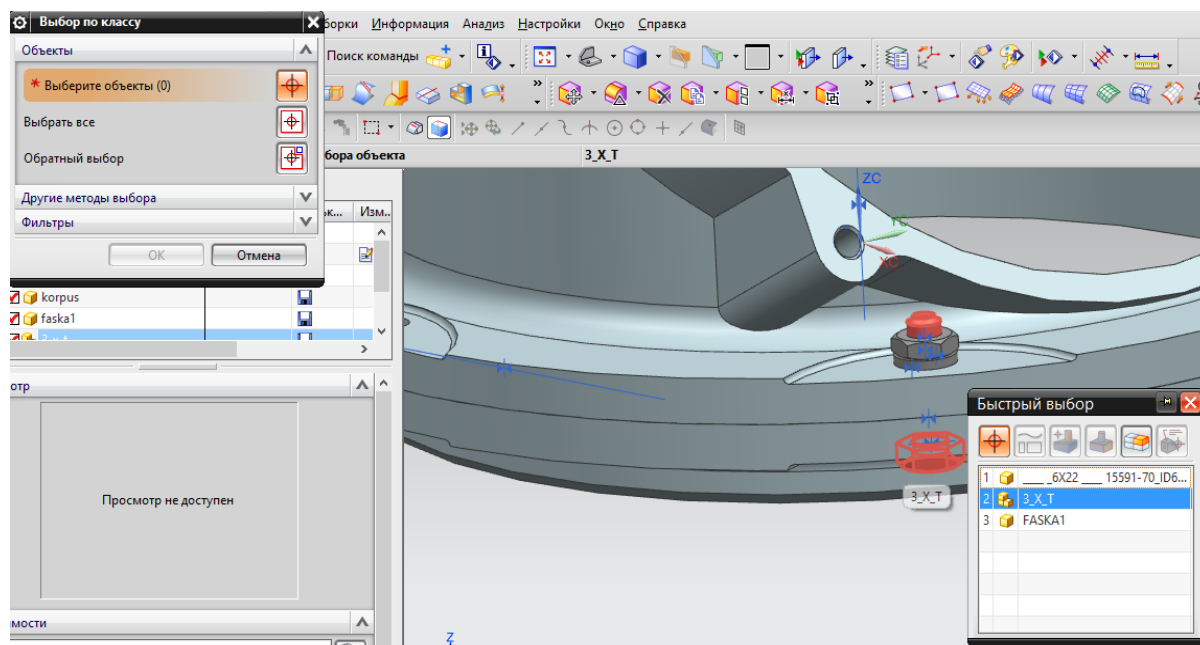


Рис. 2.24. Выбор компонента для создания массива

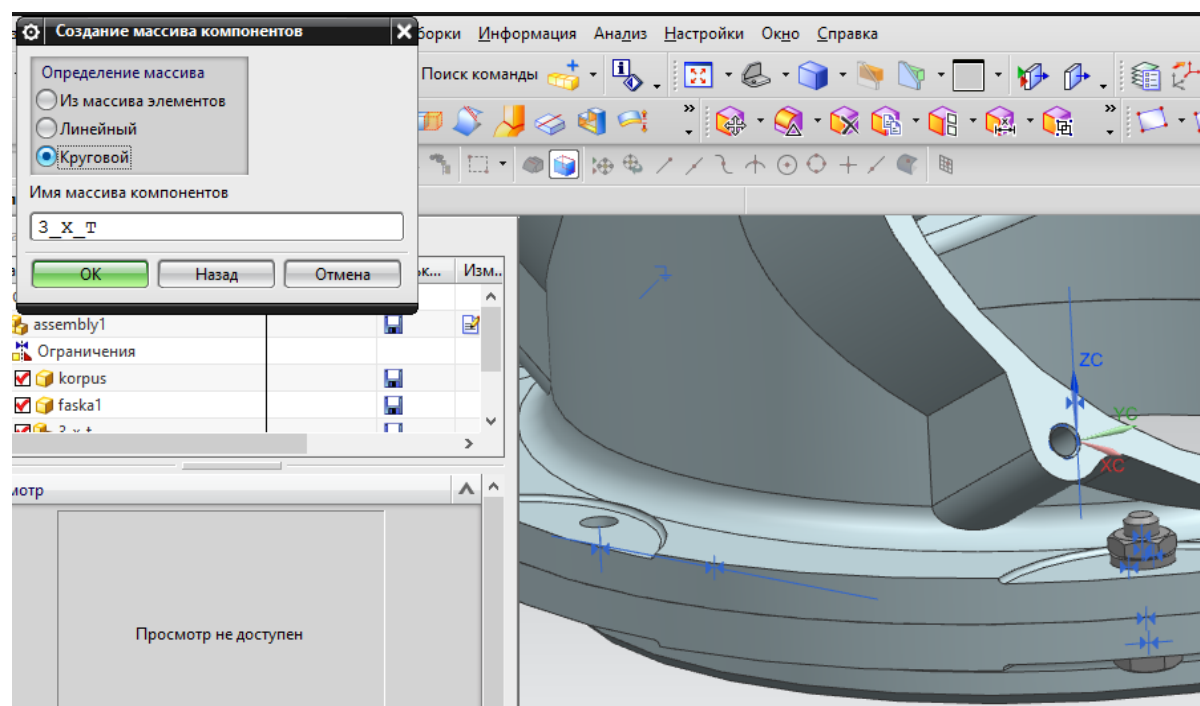


Рис. 2.25. Выбор типа массива

Задают ось массива, указав на цилиндрическую поверхность сборки, после чего задают в диалоговом окне количество болтов и угол между ними (рис. 2.26).

После нажатия кнопки **ОК** получаем модель сборки, представленную на рис. 2.27.

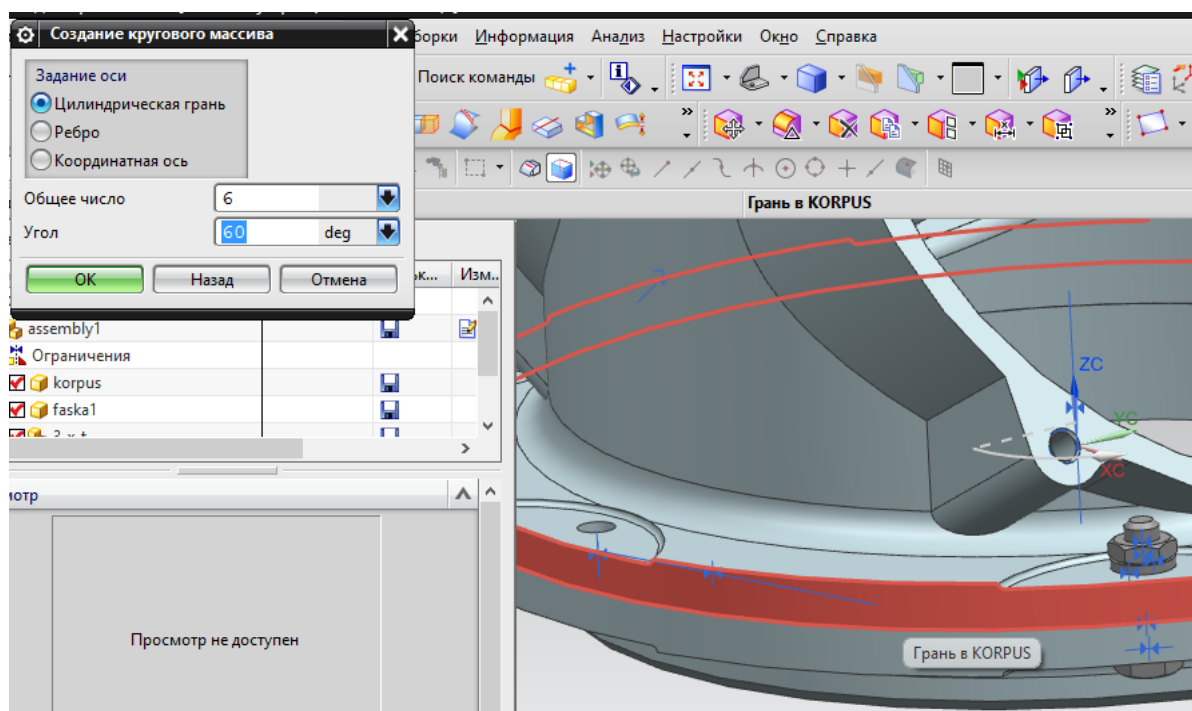


Рис. 2.26. Задание оси кругового массива, количества элементов и их расположения

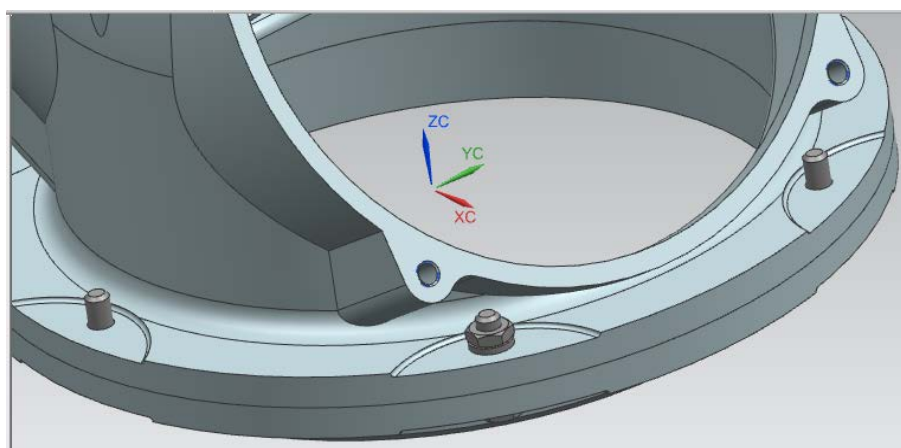


Рис. 2.27. Общий вид сборки

Аналогичные действия выполняются с шайбой и гайкой, и в итоге получается готовая сборка (рис. 2.28).

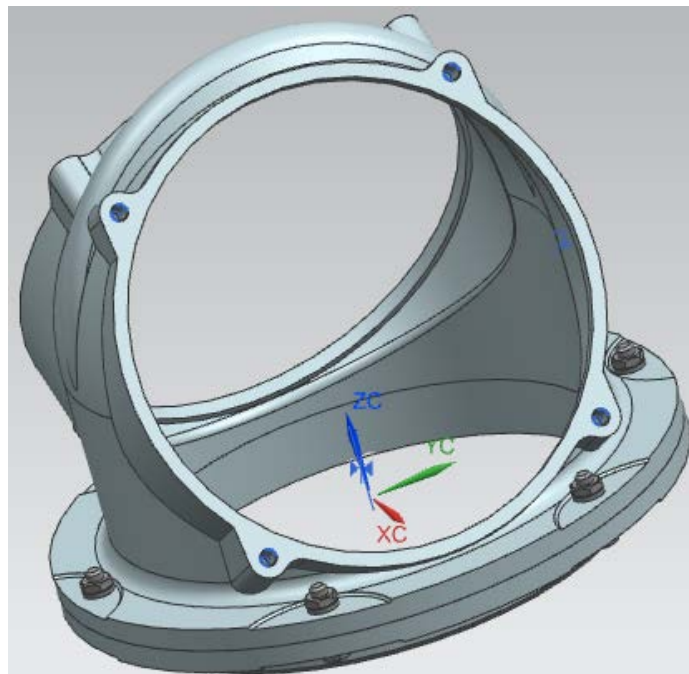


Рис. 2.28. Готовая сборка

3. ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NX ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

3.1. Общие сведения

Многофункциональный модуль конечно-элементного моделирования **«Расширенная симуляция»** программного комплекса NX обеспечивает полную ассоциативность расчетных моделей с CAD-моделями (CAD-системы (*computer-aided design*) – компьютерная поддержка проектирования, предназначенная для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации), полученными средствами автоматизированного графического оформления конструкторской документации. Это позволяет специалисту при необходимости оперативно вносить изменения в конструкцию и расчетную модель [2 – 6]. Модуль NX **«Расширенная симуляция»** использует различные ведущие промышленные решатели – NX Nastran, MSC Nastran, ANSYS и др. Модуль позволяет легко адаптировать конструкторскую CAD-модель объекта для выполнения конечно-элементного (КЭ) анализа. Например, специалисты-расчетчики без обращения к конструктору могут упростить модель, удалив мелкие геометрические элементы (отверстия малого диаметра, скругления, фаски и др.) и выполнить операции деления объекта для улучшения качества расчетной сетки. Одной из особенностей работы с использованием модуля **«Расширенная симуляция»** является разделение расчетной и конечно-элементной моделей, что позволяет для одной КЭ-модели выполнить несколько анализов различных типов.

При переходе в модуль **«Расширенная симуляция»** сначала следует выбрать и задать решатель и тип анализа. В решателе NX Nastran доступны следующие типы анализа: линейный статический

анализ (SOL 101), анализ собственных частот и форм колебаний (SOL 103), анализ отклика на воздействия, зависящие от времени или частоты (SOL 103), анализ потери устойчивости конструкций (SOL 105), анализ переходных процессов (SOL 129), анализ теплопереноса (SOL 153), оптимизационный анализ (SOL 200) и др. [2 – 6].

Процедуру выполнения анализа объектов в модуле NX «**Расширенная симуляция**» условно можно разделить на несколько этапов:

- 1) создание идеализированной геометрической модели объекта (детали, сборочной единицы и др.);
- 2) создание КЭ-модели;
- 3) задание физико-механических свойств объекта;
- 4) создание сетки конечных элементов;
- 5) создание расчетной модели;
- 6) задание нагрузок и граничных условий;
- 7) численное решение задачи и анализ полученных результатов.

При работе в модуле «**Расширенная симуляция**» используются следующие модели объекта:

- мастер-модель (*.prt) – содержит неизменяемую исходную геометрию;
- идеализированная модель (*.i.prt) – содержит упрощенную (идеализированную) геометрию (действия, выполняемые при идеализации, не влияют на мастер-модель);
- КЭ-модель (*.fem) – содержит данные об узлах сетки, элементах, о свойствах материала;
- симуляция (*.sim) – содержит данные о нагрузках, граничных условиях и решении, а также результаты расчета.

3.2. Создание идеализированной геометрической модели

Для эффективного применения метода КЭ следует построить корректную геометрическую модель, для чего при необходимости изменяют геометрию исходной модели. Рекомендуют исключить все геометрические элементы, которые приводят к усложнению модели, но не оказывают существенного влияния на точность расчетов. Идеализация геометрии может включать удаление (исключение) небольших отверстий, фасок, скруглений, а также разделение тела на небольшие простые объемы с целью дальнейшего построения гексаэдральной сетки. Система выполняет все операции идеализации на ассоциативной копии исходной модели (адаптированной для выполнения конечно-элементного анализа конструкторской CAD модели объекта), для чего автоматически создает идеализированную модель (FEM-модель), которой соответствует файл «*_fem_i.prt». Все команды, связанные с упрощением геометрии, доступны при активном файле идеализации.

В модуле NX «Расширенная симуляция» для быстрого упрощения и изменения геометрии имеется набор инструментов (рис. 3.1).

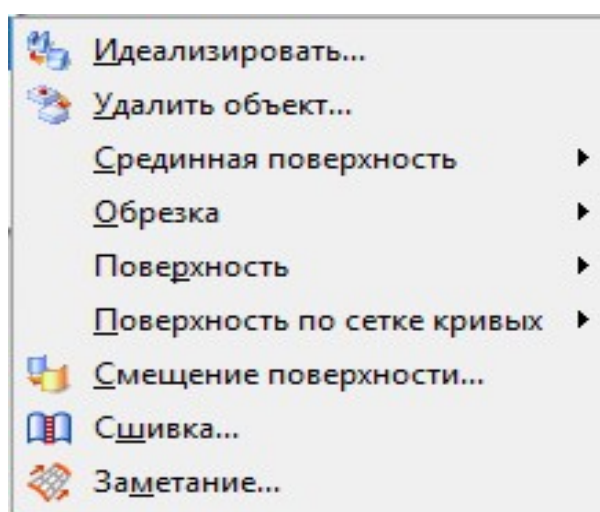


Рис. 3.1. Команды панели «Расширенная симуляция», «Подготовка модели»

Например, в процессе идеализации геометрии требуется удалить десять фасок в отверстиях M24, скругления радиусом менее 6 мм (рис. 3.2, а) и фаску на выступе (рис. 3.2, б) детали типа шатун [6].

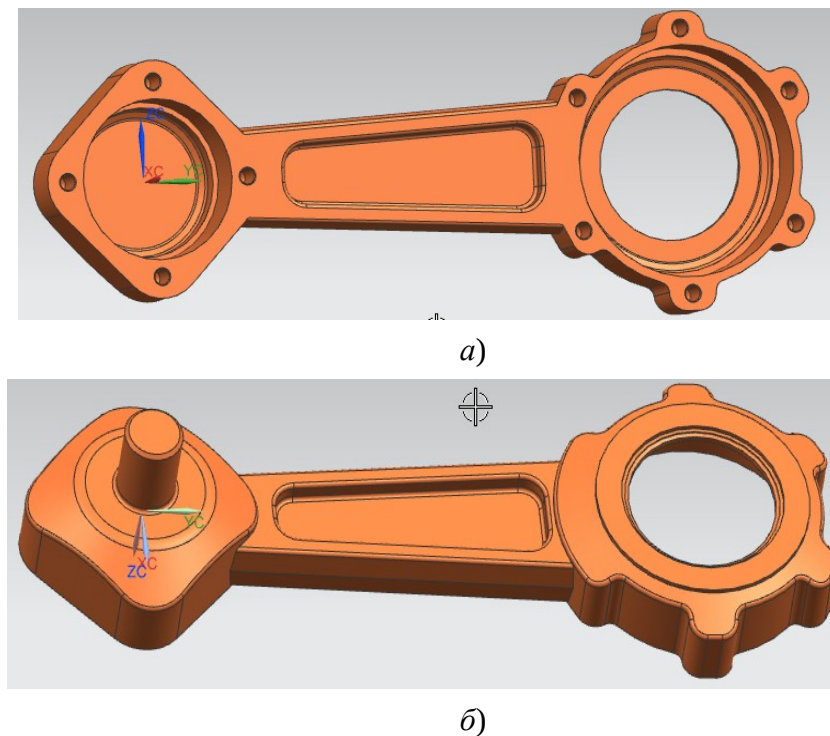


Рис. 3.2. Модель детали типа «шатун»: а – вид на резьбовые отверстия;
б – вид на выступ с фаской

1. Запускают NX и, используя модуль **Моделирование**, создают модель шатуна (см. рис. 3.2).

2. Переходят в модуль **«Расширенная симуляция»** (Начало → **Расширенная симуляция**).

Производят настройку диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню пункты: **Настройки** → **Интерфейс пользователя**. На вкладке **Общий** устанавливают опцию **Сброс настроек диалогового окна**, нажимают **ОК**.

3. Выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель** на панели **Расширенная симуляция**, либо вызывают контекстное меню, выбирая правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции**. Выполняют команду для создания КЭ-модели. (В отли-

чие от команды **Новая конечно-элементная модель и симуляция** эта последняя создаваться не будет). В окне **Новая конечно-элементная модель** должна быть включена опция **Создать идеализированную деталь**.

4. Переходят к модели идеализации, выполнив двойной щелчок на строке «*fem_1i» в окне **Вид файла симуляции**. В появившемся диалоговом окне **Idealized Part Warning** нажимают **ОК**. Данное предупреждение напоминает пользователю, что перед выполнением каких-либо действий, связанных с идеализацией геометрии, необходимо выполнить команду **Перенос**.

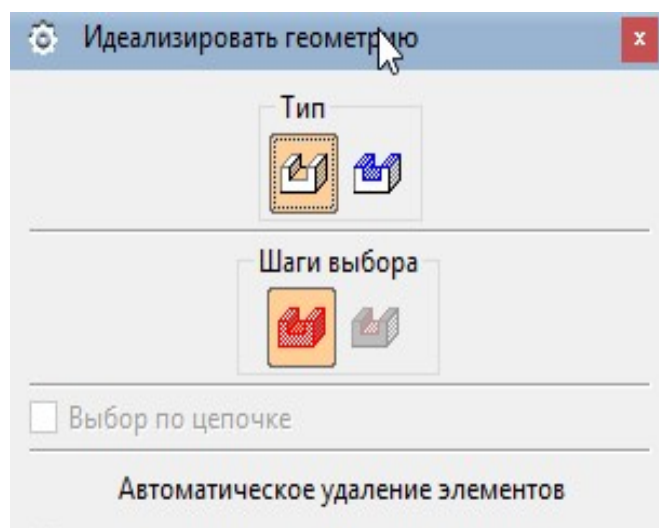


Рис. 3.3. Окно «Идеализировать геометрию»

5. Для отделения идеализируемой модели от мастер-модели следует выполнить команду **Вставить → Ассоциативная копия → Перенос**, или нажать кнопку **Перенос** на панели **Расширенная симуляция**. После открытия окна **Перенос тела** выбирают деталь двойным щелчком мыши и нажимают **ОК**.

6. Выполняют команду **Вставить → Подготовка модели → Идеализировать**, после чего открывается диалоговое окно (рис. 3.3).

Двойным щелчком мыши выбирают тело, после чего становятся доступными опции **Автоматическое удаление элементов**. В разделе **Шаги выбора** переключитесь на шаг **Удаление граней** (рис. 3.4).

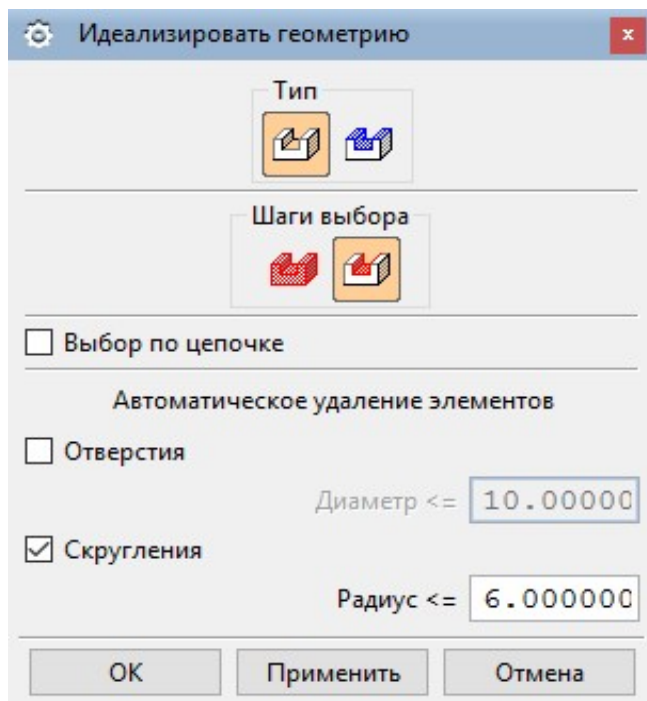


Рис. 3.4. К выбору опции «Удаление граней»

Если выбрать опцию **Скругления** и задать значение 6 (мм), то после нажатия кнопки **Применить** будут удалены скругления, радиус которых равен или менее 6 мм.

7. Переключаются на шаг **Удаление граней (Опционально)**. Выбирают все удаляемые фаски (в десяти отверстиях М24 и на выступе) и нажимают **ОК**.

3.3. Создание конечно-элементной модели

Одним из этапов решения задачи является разбиение модели сеткой конечных элементов, т. е. разделение геометрии на элементы, которые связаны между собой узлами. Создается КЭ-модель (КЭМ

или FEM – *Finite Element Model*, англ.), качество сетки которой оказывает существенное влияние на точность расчета.

Модуль «**Расширенная симуляция**» позволяет автоматически создавать: одномерные (1D) стержневые элементы на ребрах и линиях; двумерные (2D) оболочечные элементы на гранях и поверхностях; трехмерные (3D) объемные элементы [2, 3, 6].

Для генерации сетки КЭ на твердотельной модели в модуле «Расширенная симуляция» применяют 3D-тетраэдральную и 3D-гексаэдральную сетки.

3D-тетраэдральную сетку рекомендуется использовать для объектов, имеющих сложную геометрическую форму, например, для корпусных деталей, заготовки которых получены литьем. Используют тетраэдральные элементы первого (СТЕТРА(4)) и второго (СТЕТРА(10)) порядка, содержащие 4 и 10 узлов соответственно (рис. 3.5) [2 – 6].

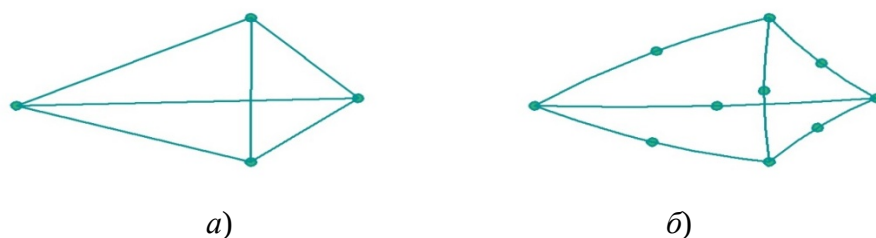


Рис. 3.5. Тетраэдральные элементы первого (СТЕТРА(4)) (а) и второго (СТЕТРА(10)) (б) порядка

3D-гексаэдральную сетку рекомендуется использовать, если геометрия модели построена инструментами «заметания» (команды **Вытягивание** и **Вращение** модуля **Моделирование**). Различают элементы гексаэдральной сетки первого (СНЕХА(8)) и второго (СНЕХА(20)) порядка, содержащие 8 и 20 узлов соответственно (рис. 3.6).

При построении 3D-гексаэдральной сетки следует изучить геометрию модели и выбрать направление «заметания» для сетки КЭ, которое должно соответствовать направлению «заметания» объекта при его построении в модуле **Моделирование**.

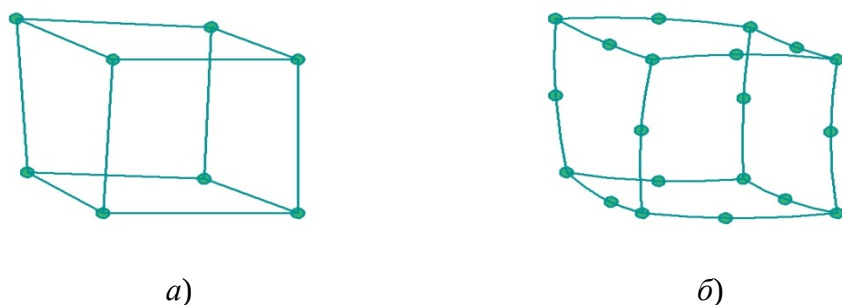


Рис. 3.6. Гексаэдральные элементы первого (CHEXA(8)) (а) и второго (CHEXA(20)) (б) порядка

В процессе генерации сетки система производит оценку ее качества. Если при генерации сетки система обнаруживает дефекты геометрии, размер которых менее 10 % от размера элемента сетки, то они будут проигнорированы.

Для создания конечно-элементных сеток предназначены следующие команды (рис. 3.7):

3D-тетраэдральная сетка – обеспечивает создание сетки с помощью тетраэдральных (CTETRA4, CTETRA10) и пирамидальных КЭ, содержащих 5 ... 13 узлов.

3D-гексаэдральная сетка – для создания структурированной 3D-гексаэдральной сетки с помощью элементов CHEXA8 и CHEXA20.

2D-сетка – для создания сетки с помощью 2D элементов: четырехугольных поверхностных (CQUAD4, CQUAD8, CQUADR), треугольных (CTRIA3, CTRIA6, CTRIAR) и др.

0D-сетка – предназначена для создания 0D элементов, имитирующих упруго-демпферную связь, пружину, демпфер между объектами, элемент сосредоточенной массы и др.

Параметры сетки – обеспечивает локальное управление размерами или количеством элементов на выбранных гранях или ребрах.

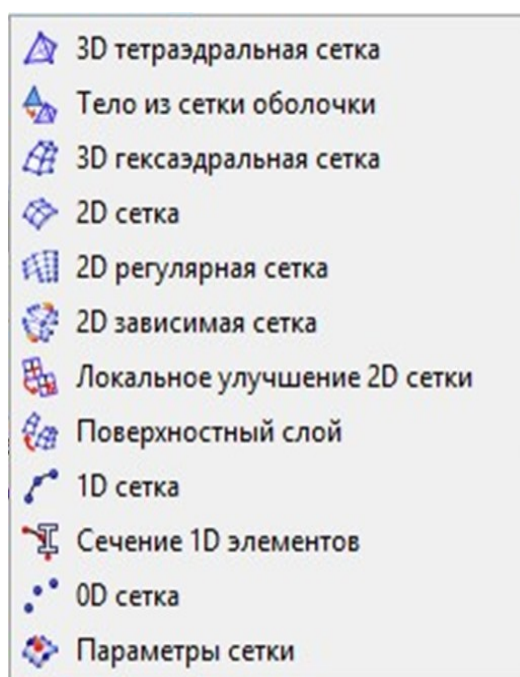


Рис. 3.7. Команды панели «Расширенная симуляция», КЭ-модель, «Создание конечно-элементных сеток»

В некоторых случаях геометрическая форма объекта содержит излишнюю детализацию, в которой нет необходимости при работе с расчетной моделью. С помощью соответствующих команд (рис. 3.8) можно скорректировать полигональную геометрию для улучшения качества сетки: удалять грани и поверхности, делить и объединять грани и ребра, сшивать ребра и восстанавливать недостающие грани.

Результат выполнения этих команд не вносит изменений в идеализированную геометрическую модель.

Команда **Автоматическое исправление геометрии** позволяет автоматически обнаружить и исправить проблемные зоны полигональной геометрии.

Для КЭ-модели создается файл «*_fem.fem».

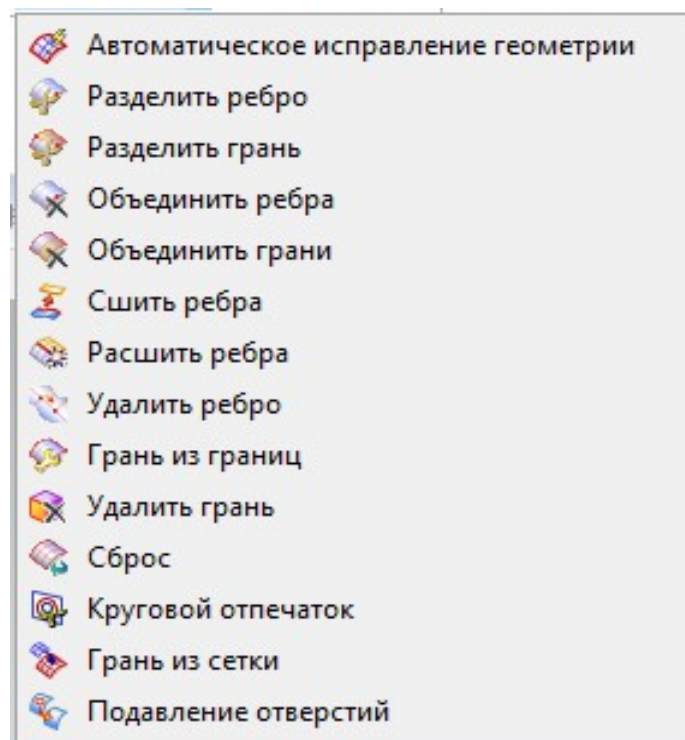


Рис. 3.8. Команды панели «Расширенная симуляция», КЭ модель, «Коррекция геометрии объекта»

Работа с КЭ-моделью включает также описание физико-механических свойств изучаемого объекта. Основными физическими свойствами являются плотность, теплоемкость, теплопроводность, суперпроводимость. К механическим свойствам материалов относят твердость, прочностные и упругие свойства.

В системе NX все вышеперечисленные свойства задаются как физико-механические свойства материала. Пользователь может использовать стандартную библиотеку материалов или добавить новый материал с заданными свойствами в локальную библиотеку материалов. Стандартная библиотека материалов содержит ограниченный пе-

речень изотропных, ортотропных и анизотропных материалов, поэтому может возникнуть необходимость добавить в библиотеку новый материал с заданными свойствами.

Пользователь добавляет новый материал в локальную библиотеку (создаваемую пользователем), и доступен этот материал лишь для текущей модели. Повторное его использование для других моделей невозможно.

Таким образом, в NX имеется два варианта задания материала и его свойств для последующего проведения инженерного анализа:

- использование стандартной библиотеки материалов;
- задание нового материала в локальную библиотеку.

Указанные действия доступны пользователю как в модуле **Моделирование**, так и в модуле **Расширенная симуляция**.

На рисунке 3.9 представлена панель, включающая команды для работы с материалами, коллекторами, с сетками, для исправления полигональной геометрии и др.

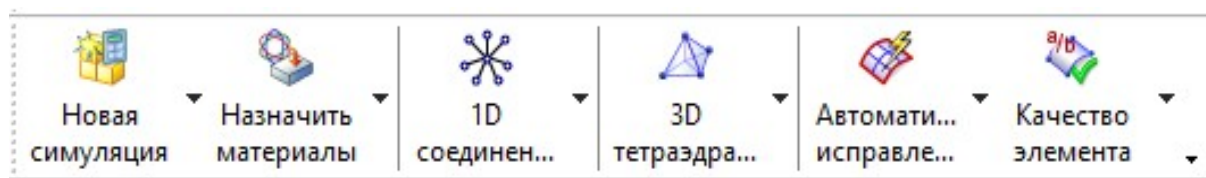


Рис. 3.9. Команды панели «Расширенная симуляция», КЭ-модель

Панель «**Расширенная симуляция**» обеспечивает возможность выполнения следующих команд:

Назначить материалы – позволяет назначать материалы объектам из списка материалов, которые находятся во встроенной библиотеке NX, либо в библиотеке, созданной пользователем (рис. 3.10).

Управление материалами – дает возможность редактировать свойства существующих материалов либо создавать новые материалы (см. рис. 3.10).

Управление библиотекой материалов – позволяет редактировать существующую библиотеку материалов, или создавать новую.

Физические свойства – обеспечивает создание, изменение и удаление таблиц физических свойств, которые используются при создании КЭ.

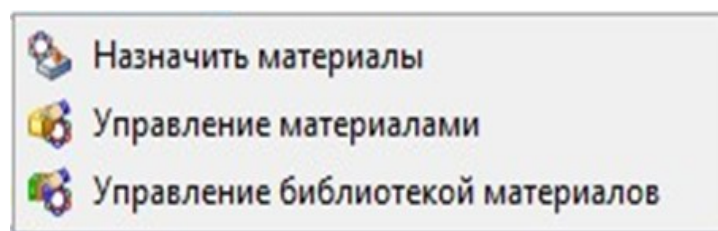


Рис. 3.10. Команды панели «Расширенная симуляция», КЭ-модель, «Назначить материалы»

В нижеприведенном примере будут показаны приемы создания и редактирования 3D-тетраэдральной сетки для модели шатуна (см. рис. 3.2) [6].

1. После выполнения действий с моделью детали шатуна, описанных в пункте 3.2, в окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «*_fem1».

2. Выполняют команду **3D-тетраэдральная сетка** (панель инструментов «**Конечно-элементная модель**»), которая создает сетку из многогранных элементов. В появившемся окне (рис. 3.11) выбирают следующие опции:

– Раздел **Выберите тела** – выбирают созданную модель шатуна двойным щелчком мыши.

– В разделе **Свойства элемента** из ниспадающего списка **Тип** выбирают тип элементов **СТЕТРА(10)**.

– В разделе **Параметры сетки** в поле **Размер элемента** нажимают кнопку **Автоматический размер элемента**. В зависимости от размера модели система вычислит размер элемента сетки – 30, 1 мм (см. рис. 3.11).

– Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание** (раздел **Коллектор назначения**), нажимают **ОК**. В результате будет построена сетка для модели шатуна (рис. 3.12).

Желательно, чтобы сетка имела максимальную плотность в местах концентрации напряжений: на отверстиях, карманах, скруглениях, в зонах контакта. Шатун имеет скругления на выступах с отверстиями. На скруглениях сгенерирована сетка из одного элемента, и этого недостаточно для получения достоверных результатов. Поэтому следует построить сетку, содержащую на скруглениях не менее двух элементов.

3. Вызывают контекстное меню на строке **3d_mech(1)** в окне **Навигатор симуляции** и выполняют команду **Изменить** (рис. 3.13).

4. Опции раздела **Настройки сетки** диалогового окна **3D тетраэдральная сетка** (см. рис. 3.11) позволяют задать дополнительные параметры для сетки конечных элементов. Устанавливают значение опции **Изменение размера элемента на основе кривизны поверхности**, равной 70.

Опция **Размер переходного элемента** должна быть включена, что позволяет создать плавный переход размера элемента на криволинейных поверхностях к общему размеру сетки.

Нажимают **ОК**, и система генерирует сетку с большим количеством элементов на криволинейных поверхностях (рис. 3.14).

Ниже приведен пример создания 3D-гексаэдральной сетки и назначения материала (сталь 45), отсутствующего в стандартной библиотеке материалов, для модели детали, представленной на рисунке 3.15.

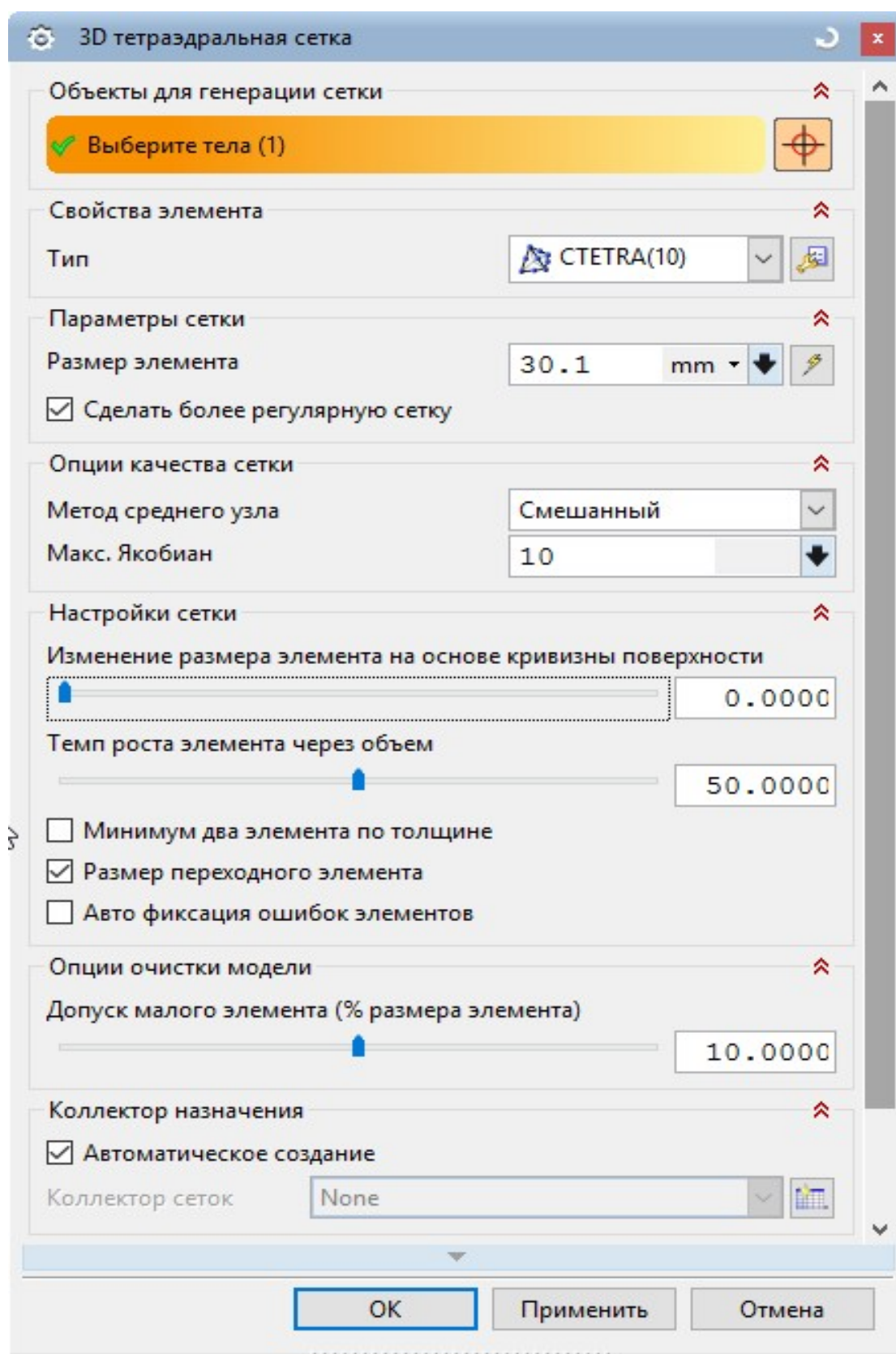


Рис. 3.11. Окно «3D-тетраэдральная сетка» для разбиения модели шатуна

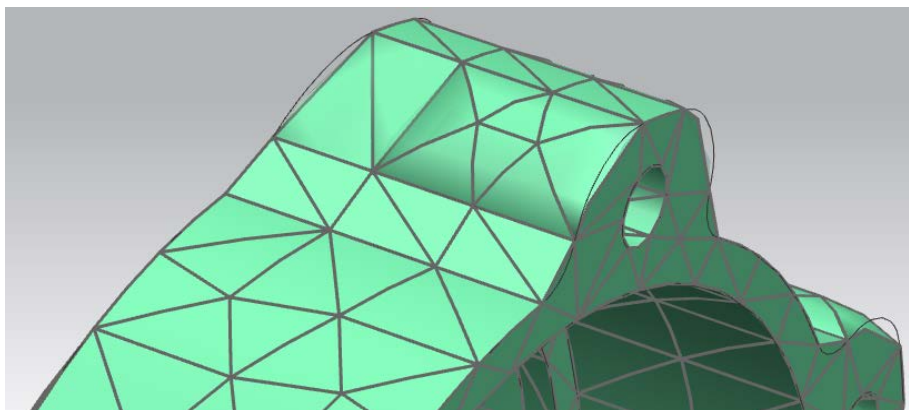


Рис. 3.12. Сетка КЭ шатуна (1-й вариант)

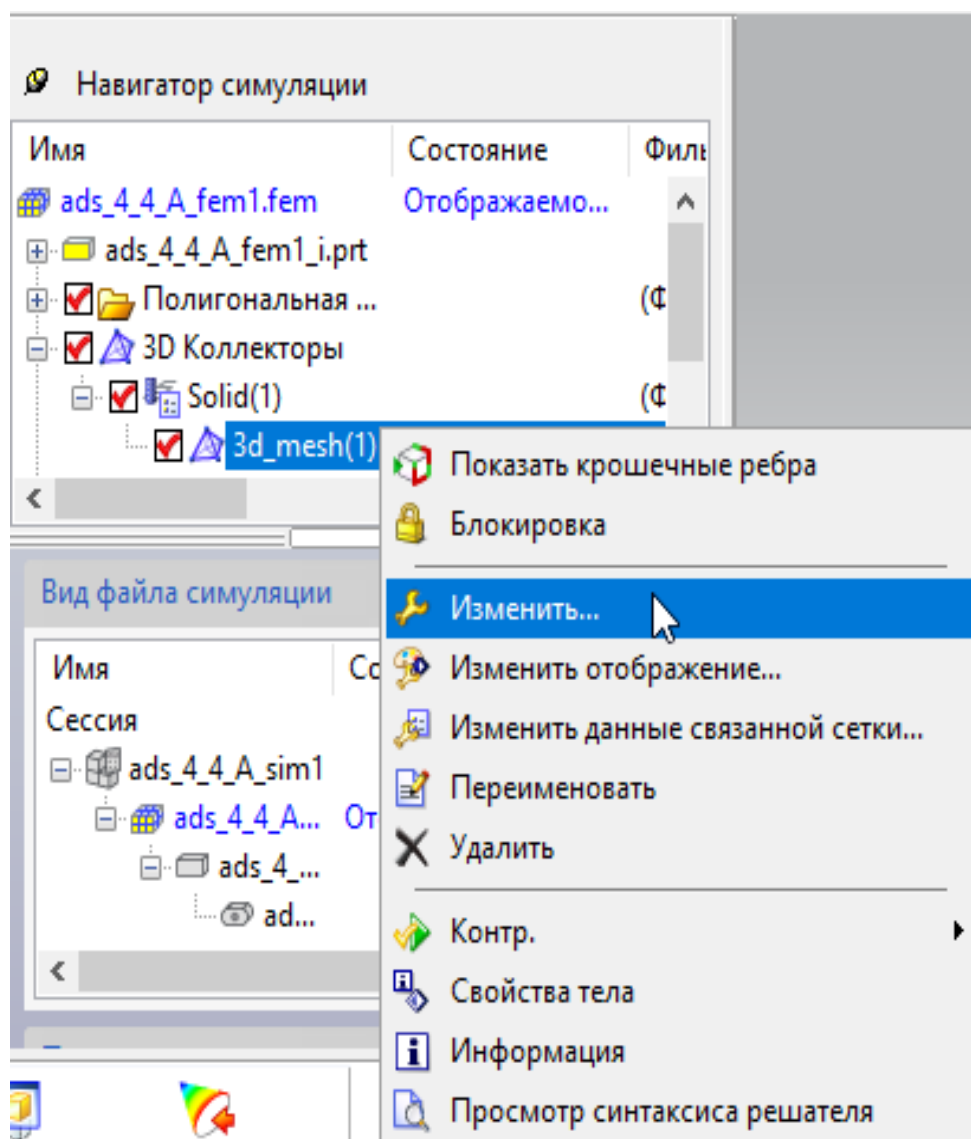


Рис. 3.13. Контекстное меню в окне «Навигатор симуляции»

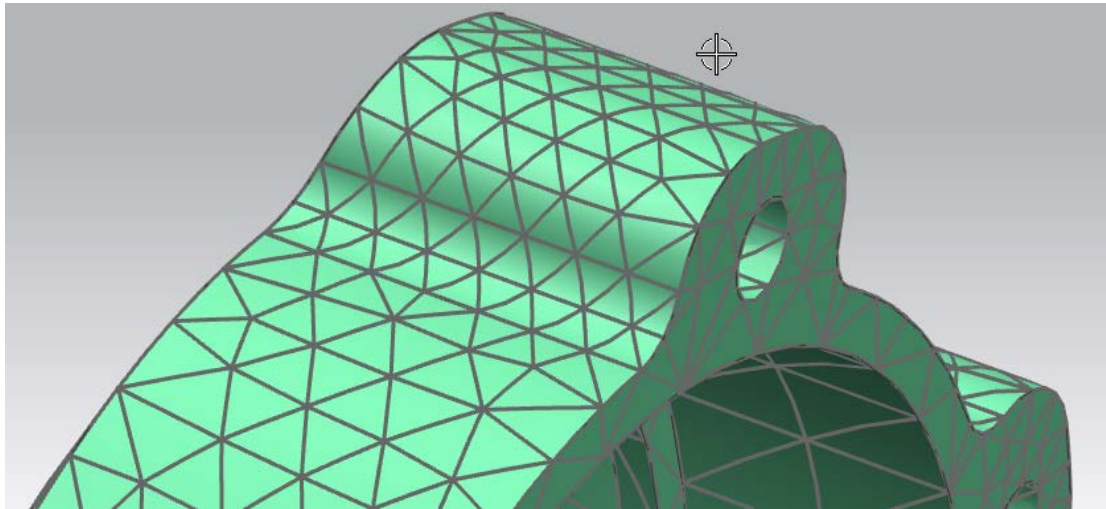


Рис. 3.14. Сетка КЭ шатуна (2-й вариант)

Поскольку стандартная библиотека материалов не содержит сталь 45, пользователю необходимо добавить этот материал с заданными свойствами в локальную библиотеку материалов.

Сталь 45 имеет следующие механические характеристики при температуре 20 °С [10]: плотность – 7850 кг/м³; модуль Юнга – 200 000 МПа; коэффициент Пуассона – 0,26; предел текучести – 353 МПа; предел прочности на растяжение – 598 МПа.

1. Переходят в модуль **«Расширенная симуляция»** (Начало → **Расширенная симуляция**).

Производят настройку диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню пункты: **Настройки → Интерфейс пользователя**. На вкладке **Общий** устанавливают опцию **Сброс настроек диалогового окна**, нажимают **ОК**.

2. Выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**, либо выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции**, а затем опцию **Новая конечно-элементная модель** для создания КЭ-модели. В появившихся диалоговых окнах нажимают **ОК**. При этом в окне **Новая КЭ модель** опция **Создать идеализированную модель** должна быть выключена.

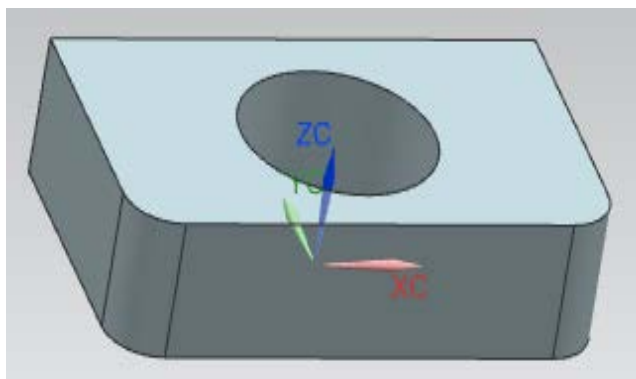


Рис. 3.15. Эскиз детали

3. В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «*_fem1».

4. Выполняют команду **3D-гексаэдральная сетка** из выпадающего меню **Сетка** (панель инструментов «Расширенная симуляция»). В появившемся окне (рис. 3.16) выбирают следующие опции:

- Раздел **Тип** – выбирают один из способов построения сетки, например, **До объекта построения**.

- Раздел **Объекты для генерации сетки** – пользователь выбирает геометрию детали. В рамках шага **Выбрать исходную грань** выбирают, например, верхнюю (см. рис. 3.15) грань детали. В рамках шага **Выберите грань на целевом теле** выбирают противоположную (нижнюю) грань.

- Раздел **Свойства элемента** – задают тип гексаэдральной сетки, например CHEXA(8).

- В разделе **Параметры исходной сетки** в поле **Исходный размер элемента** устанавливают значение 5 мм.

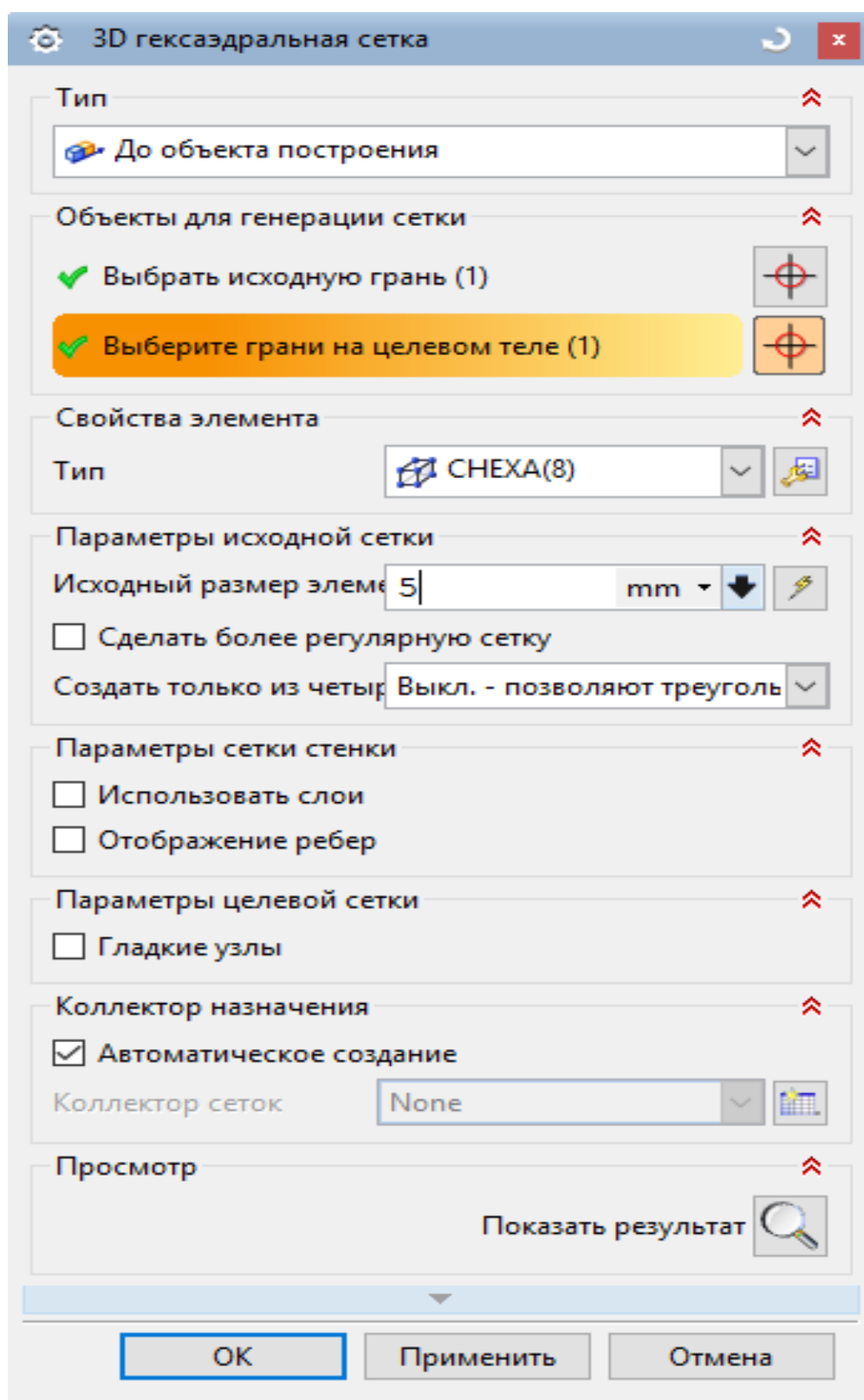


Рис. 3.16. Окно «3D-гексаэдральная сетка»

– В разделе **Коллектор назначения** включают опцию **Автоматическое создание**.

4. Нажимают **ОК**, после чего система сгенерирует сетку, показанную на рисунке 3.17.

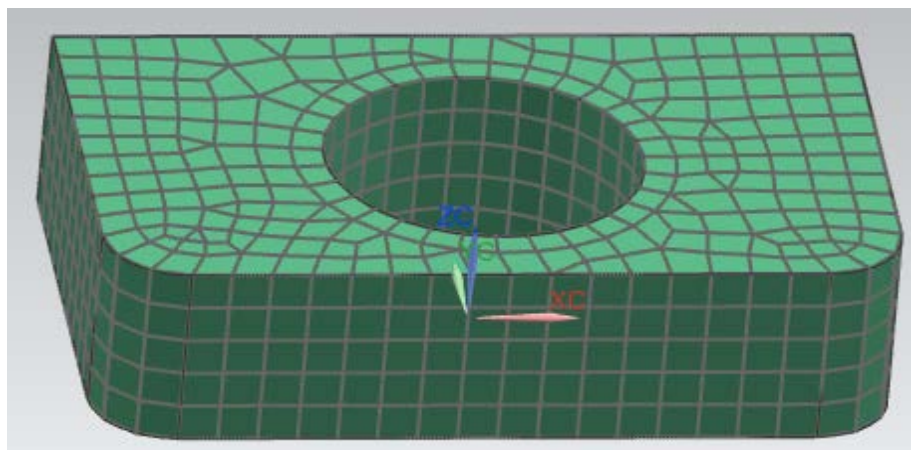


Рис. 3.17. Модель детали с гексаэдральной сеткой

5. Чтобы добавить новый материал в библиотеку материалов, в выпадающем списке **Список материалов** (см. рис. 3.10) выбирают опцию **Управление материалами**. В появившемся окне **Управление материалами** в разделе **Список материалов** устанавливают опцию **Библиотека материалов** (рис. 3.18). Чтобы воспользоваться данными материала *Steel* в качестве шаблона, выделяют строку *Steel* и нажимают кнопку – **Копировать выбранный материал**.

6. В диалоговом окне **Изотропный материал** (рис. 3.19, а) в разделе **Имя-описания** вводят название материала – *Steel_45* и механические (см. рис. 3.19, а) и прочностные (рис. 3.19, б) характеристики стали 45, при этом метод задания параметров переключают в значение **Выражение**. Нажимают **ОК**.

7. В появившемся окне **Управление материалами** (рис. 3.20) опцию **Список материалов** автоматически переключают в **Локальные материалы**. Нажимают на кнопку **Заккрыть**.

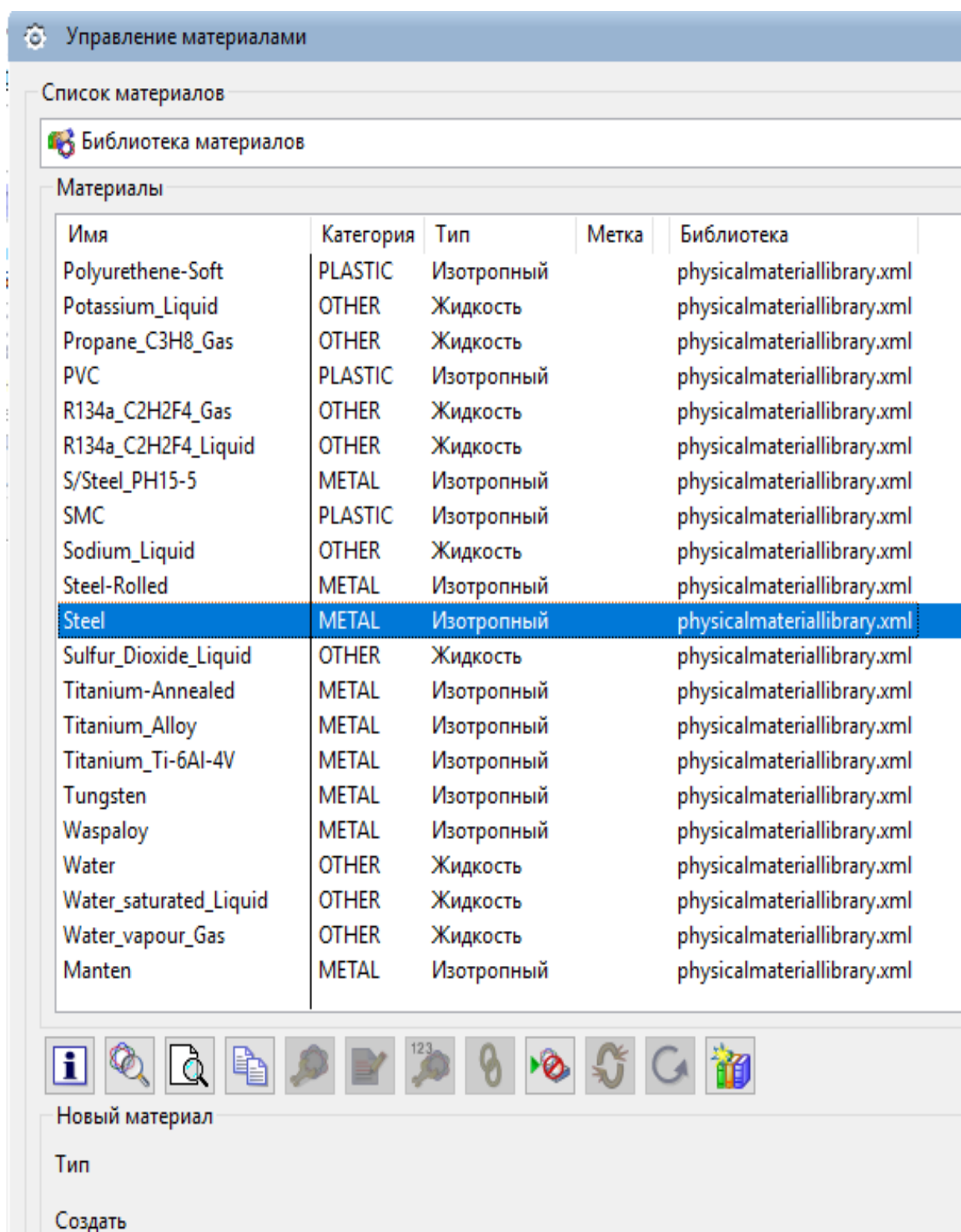
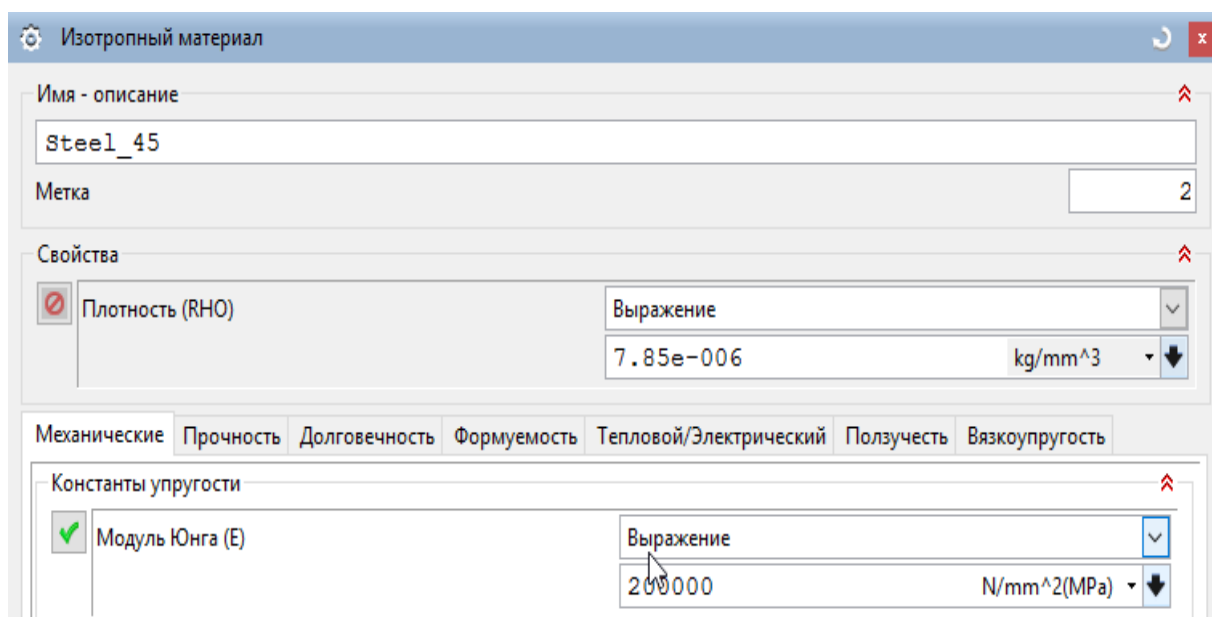
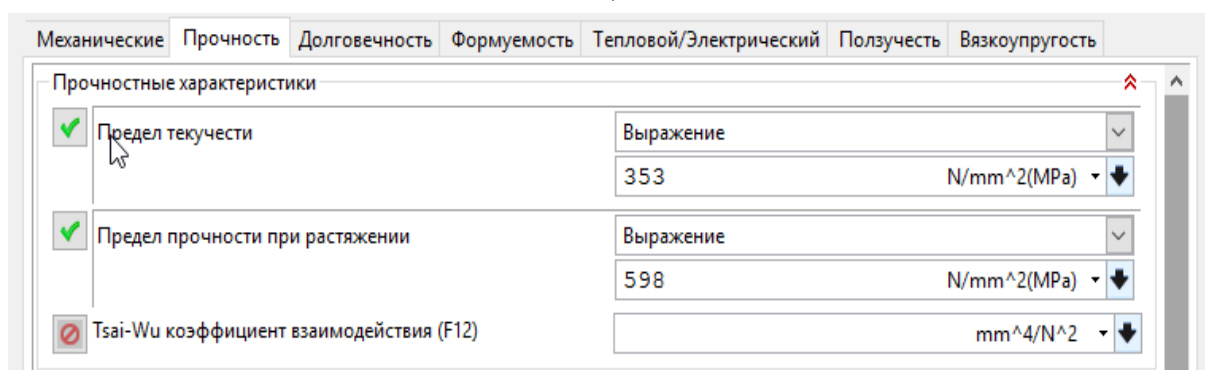


Рис. 3.18. Окно «Управление материалами»



а)



б)

Рис. 3.19. Диалоговое окно «Изотропный материал»: а – вкладка «Свойства»; б – вкладка «Прочность»

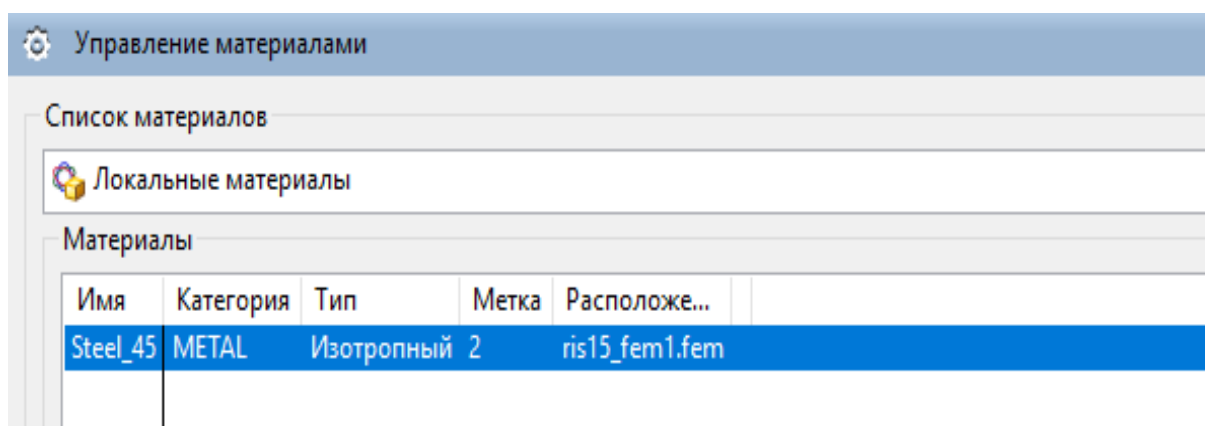


Рис. 3.20. Вариант окна «Управление материалами»

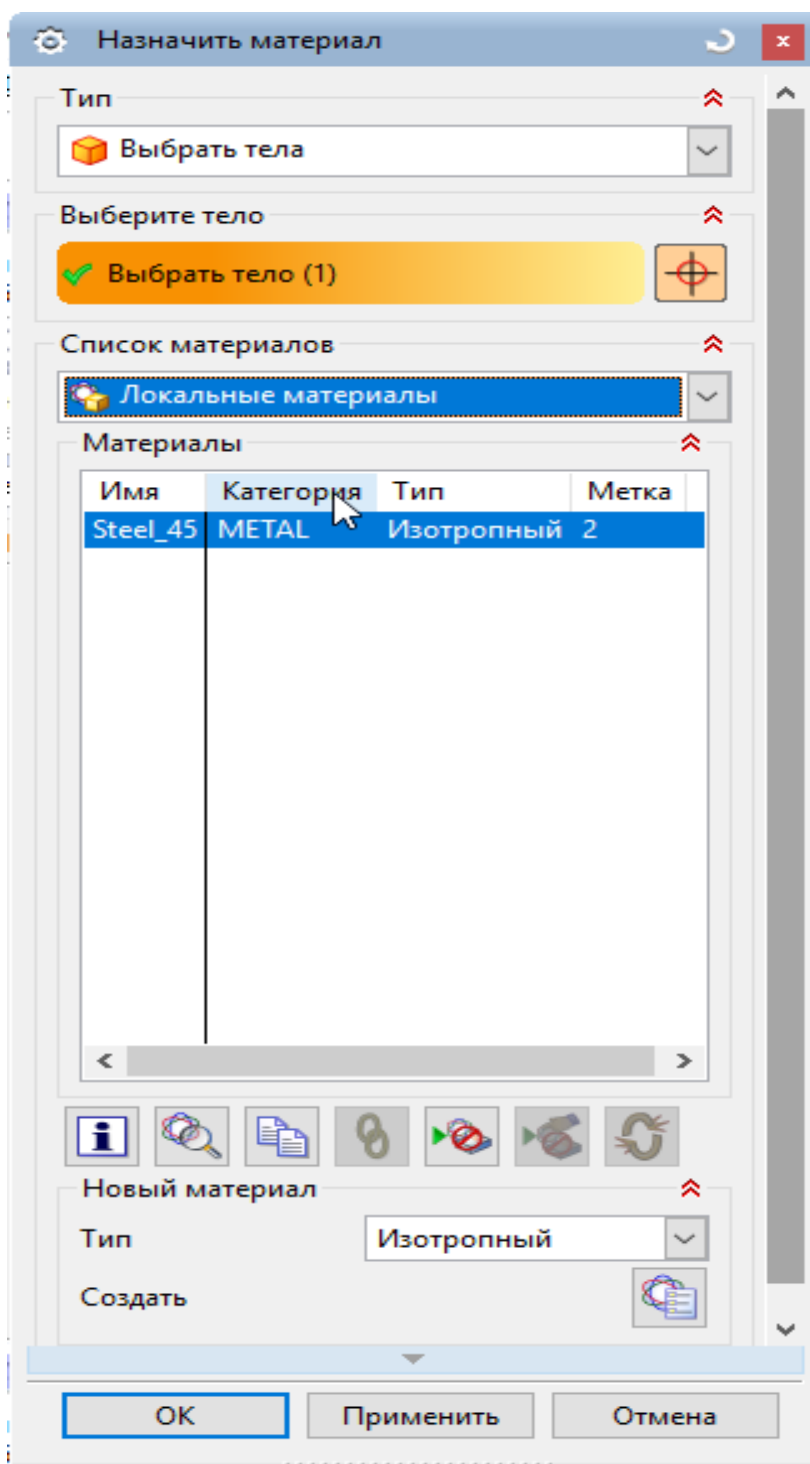


Рис. 3.21. Окно «Назначить материал»

8. Задают материал детали – сталь 45. Из выпадающего списка **Список материалов** выбирают пункт **Назначить материал**. В появившемся диалоговом окне **Назначить материал** (рис. 3.21) в разделе **Тип** устанавливают опцию **Выбрать тела** и выбирают модель

детали двойным щелчком мыши. В разделе **Список материалов** выбирают опцию **Локальные материалы**. При этом строка *Steel_45* автоматически выделяется. Нажимают клавишу **ОК**. Материал детали выбран.

Если после этого из выпадающего списка **Список материалов** выбрать пункт **Управление библиотекой материалов** и в появившемся диалоговом окне (рис. 3.22) выбрать пункт **Локальные материалы**, то материал *Steel_45* в колонке **Используемый** имеет значок в виде «галочки». Это означает, что данный материал использован в модели.



Рис. 3.22. Окно «Управление библиотекой материалов»

Чтобы отобразить свойства материала, включенного в библиотеку, следует открыть окно «Управление материалами» и выбрать опцию «Отобразить свойства выбранного материала» (рис. 3.23). Появится информация, содержащая механические и тепловые свойства материала (рис. 3.24).

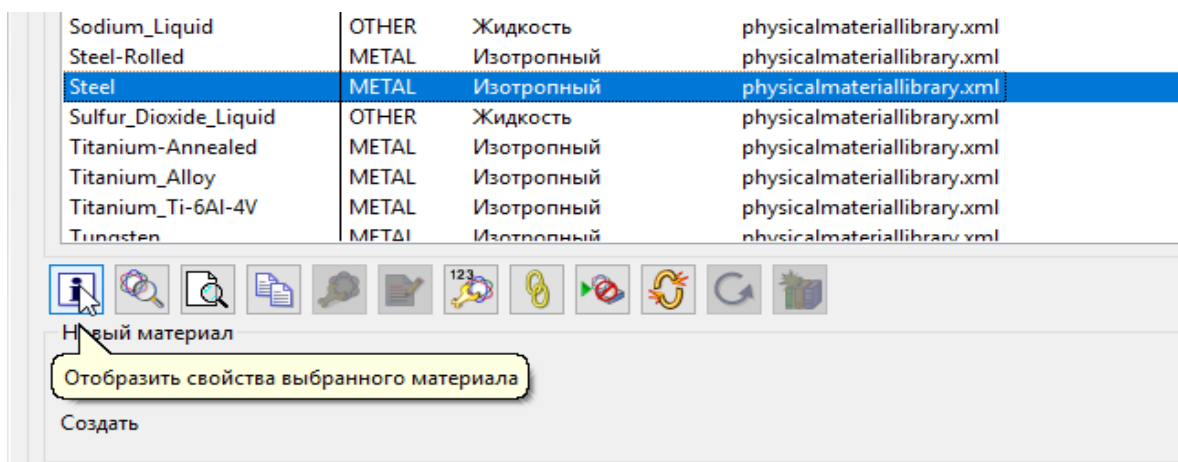


Рис. 3.23. Фрагмент окна «Управление материалами»

3.4. Создание расчетной модели

Для разработанной КЭ-модели определяют условия нагрузки, граничные и начальные условия, условия контактного взаимодействия, выбирают тип анализа и опции решателя. Данный этап является наиболее ответственным, поскольку непосредственно влияет на результаты расчета. Созданный файл симуляции «*_sim. sim» (SIM-файл) содержит все параметры и свойства объекта, настройки решателя (тип решения, шаг решения и др.), нагрузки, ограничения, физические свойства. Возможно создание нескольких файлов симуляции *sim*, ассоциативно связанных с одним файлом *fem*.

Все параметры и опции при задании граничных условий интерактивны и активируются в соответствии с выбранным решателем и типом решения. Граничные условия могут быть приложены к геометрическим объектам (ребрам, граням, вершинам, точкам) и объектам КЭ-модели (узлам, элементам, граням и ребрам элементов).

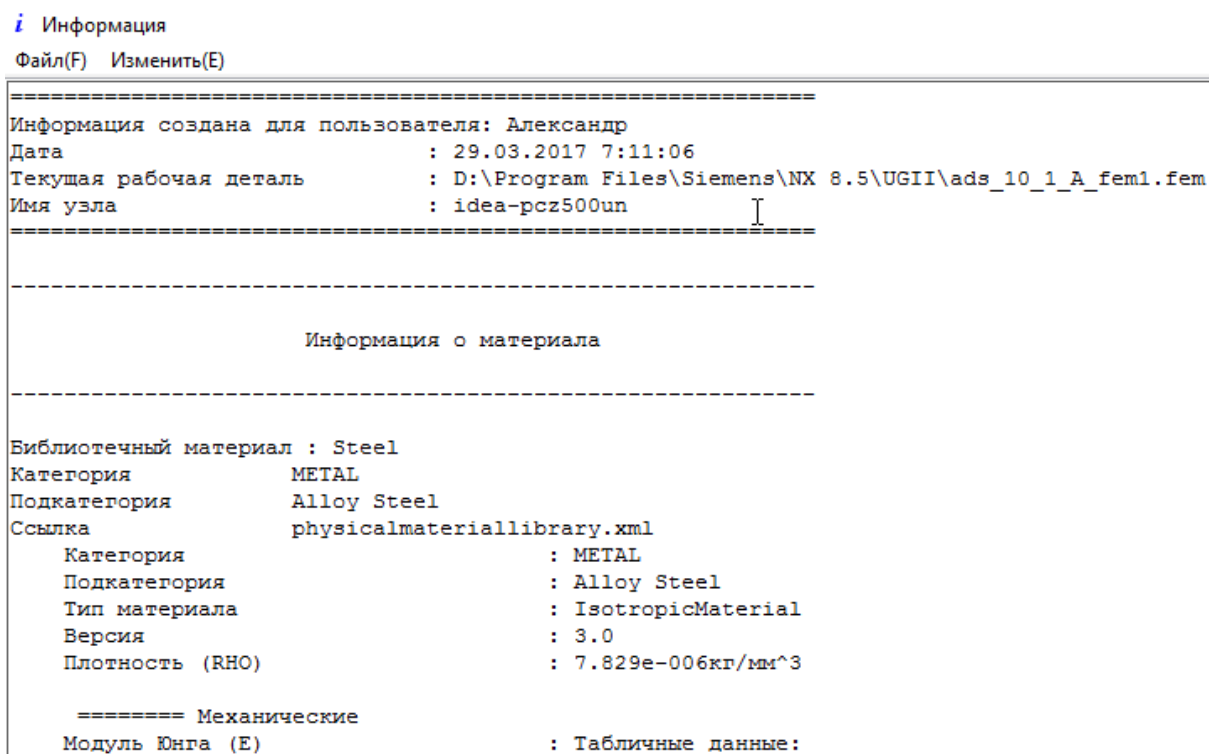


Рис. 3.24. Информация о свойствах материала Steel

Панель «**Расширенная симуляция**» (рис. 3.25) включает команды для работы с нагрузками, ограничениями, объектами моделирования и симуляции.

Наиболее часто используют команды панелей «**Тип нагрузки**» (рис. 3.26) и «**Тип ограничения**» (рис. 3.27).

Команды **Сила**, **Момент**, **Давление**, **Сила тяжести** – используют для создания соответствующих условий нагрузки геометрических и конечно-элементных объектов. При выполнении этих команд обычно задают объект, величину нагрузки и вектор направления ее действия.

Крутящий момент – команда предназначена для моделирования крутящего момента путем приложения касательных сил к выбранной цилиндрической грани.

Центробежная нагрузка – обеспечивает приложение центробежной нагрузки, возникающей при вращении исследуемого объекта, при этом задают угловую скорость и ускорение.

Температурная нагрузка – задает известное распределение температуры в объекте с целью определения его температурных деформаций.

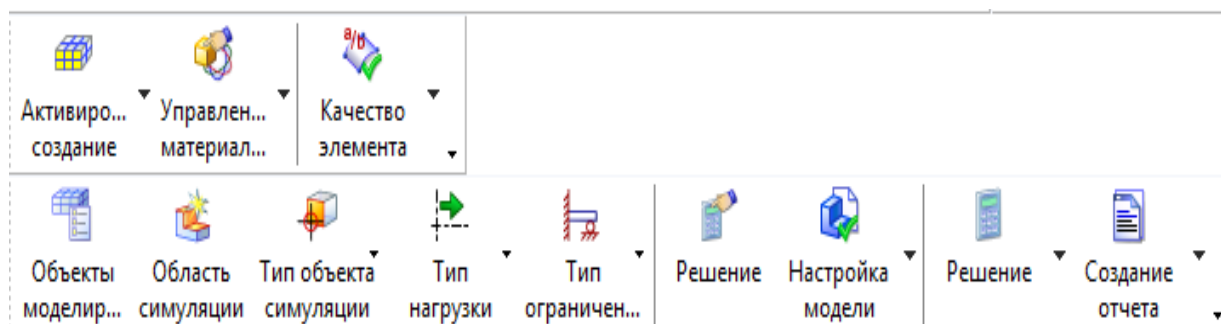


Рис. 3.25. Команды панели «Расширенная симуляция», файл симуляции

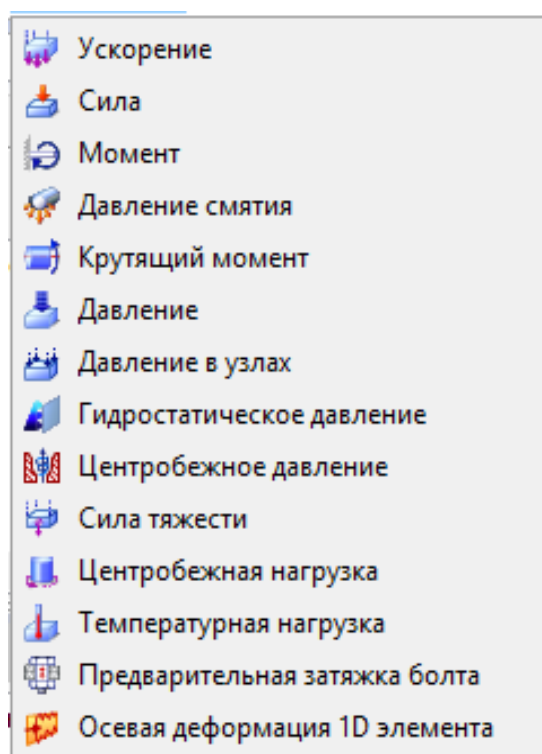


Рис. 3.26. Команды панели «Расширенная симуляция», «Тип нагрузки»

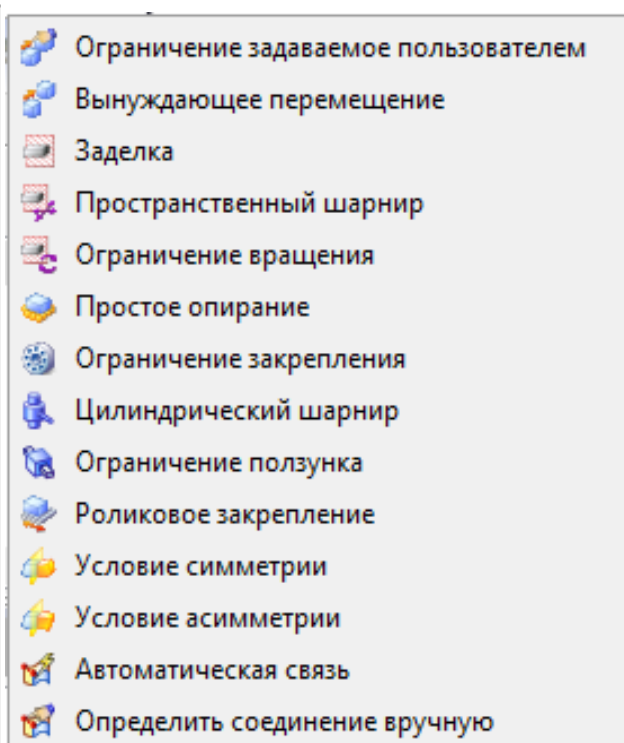


Рис. 3.27. Команды панели «Расширенная симуляция», «Тип ограничения»

Заделка, Пространственный шарнир, Ограничение вращения – объект лишается соответственно всех шести степеней свободы – трех перемещений и трех вращений.

Простое опирание – определяется вектор, в направлении которого объект лишается возможности перемещения, остальные степени свободы не ограничены.

Ограничение закрепления – цилиндрический объект лишается всех степеней свободы, кроме вращения вокруг собственной оси.

Ниже приведен пример задания сосредоточенной силы, равной 60 Н, приложенной в точке, расположенной на грани тела, имеющего форму пластины размером 200×50×10 мм.

1. Запускают *NX* и создают модель пластины, имеющей вышеприведенные размеры.

2. Переходят в модуль **«Расширенная симуляция» (Начало → Расширенная симуляция)**.

Производят настройку диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню: **Настройки → Интерфейс пользователя**. На вкладке **Общий** устанавливают опцию **Сброс настроек диалогового окна**, нажимают **ОК**.

3. Выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**, либо выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции**, затем опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция** для создания конечно-элементной (КЭ) и расчетной моделей.

Появляется диалоговое окно создания FEM файла, в качестве **Решателя** выбирают ***NX Nastran***, тип анализа – **Структурный**. Поскольку идеализация модели осуществляться не будет, в окне **Новая конечно-элементная модель** (рис. 3.28) опция **Создать идеализированную деталь** должна быть выключена, нажимают **ОК**. Появится новое диалоговое окно создания SIM файла, в окне **Решение** выбирают **Тип решения** – **«SOL 101 – Линейный статический анализ»**, нажимают **ОК**.

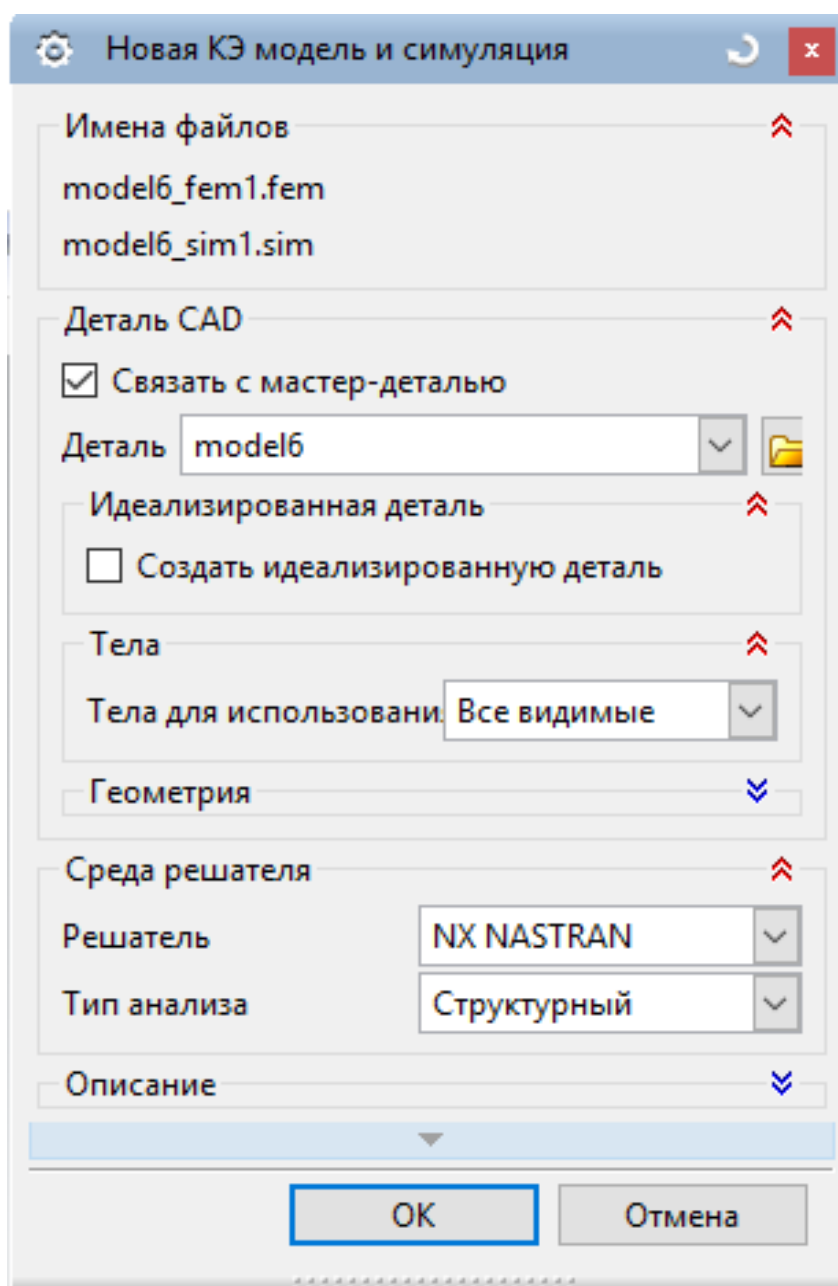


Рис. 3.28. Окно «Новая конечно-элементная модель и симуляция»

4. Выполняют команду **3D-тетраэдральная сетка** (панель инструментов «**Конечно-элементная модель**»). В появившемся окне выбирают следующие опции:

- **Выберите тела** – выбирают созданную модель детали двойным щелчком мыши.
- **Тип** – выбирают тип элементов, например **CTETRA(4)**.
- **Размер элемента** – 5 мм.

– Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание (Коллектор назначения)**, нажимают **ОК**.

5. Задают материал пластины из библиотеки материалов. В выпадающем списке **Назначить материалы** выбирают одноименный пункт **Назначить материалы**. В появившемся диалоговом окне **Назначить материалы** (рис. 3.29) в разделе **Тип** выбирают пункт **Выбрать тела**, после чего выбирают модель. В разделе **Список материалов** следует выбрать пункт **Библиотека материалов**. Из списка выбирают материал, например, **Steel**, нажимают **ОК**.

6. Для приложения сосредоточенной силы, действующей в точке, расположенной на ребре или грани, следует вначале эту точку задать. Для этого выполняют команду **Вставить → Подготовка модели → Точка**. В появившемся диалоговом окне **Точка** (рис. 3.30) выбирают опцию **Тип – Контекстная точка** и в разделе **Координаты** вводят координаты точки, например, $X = 10$, $Y = 20$, $Z = 10$. В результате будет создана точка с данными координатами (см. рис. 3.30).

7. Перестраивают сетку КЭ, чтобы совместить один из ее узлов с построенной точкой.

Выполняют команду **Вставить → Подготовка модели → Точка сетки**. В появившемся диалоговом окне **Конструктор точек сетки** (рис. 3.31) выбирают тип – **Точка проецирования**. В разделе **Объект для проецирования** переходят на шаг **Выбрать объект** и выбирают грань, на которой расположена ранее созданная точка. В разделе **Точка** устанавливают тип задания точки – **Существующая точка**, выбирают созданную ранее точку и нажимают **ОК**.

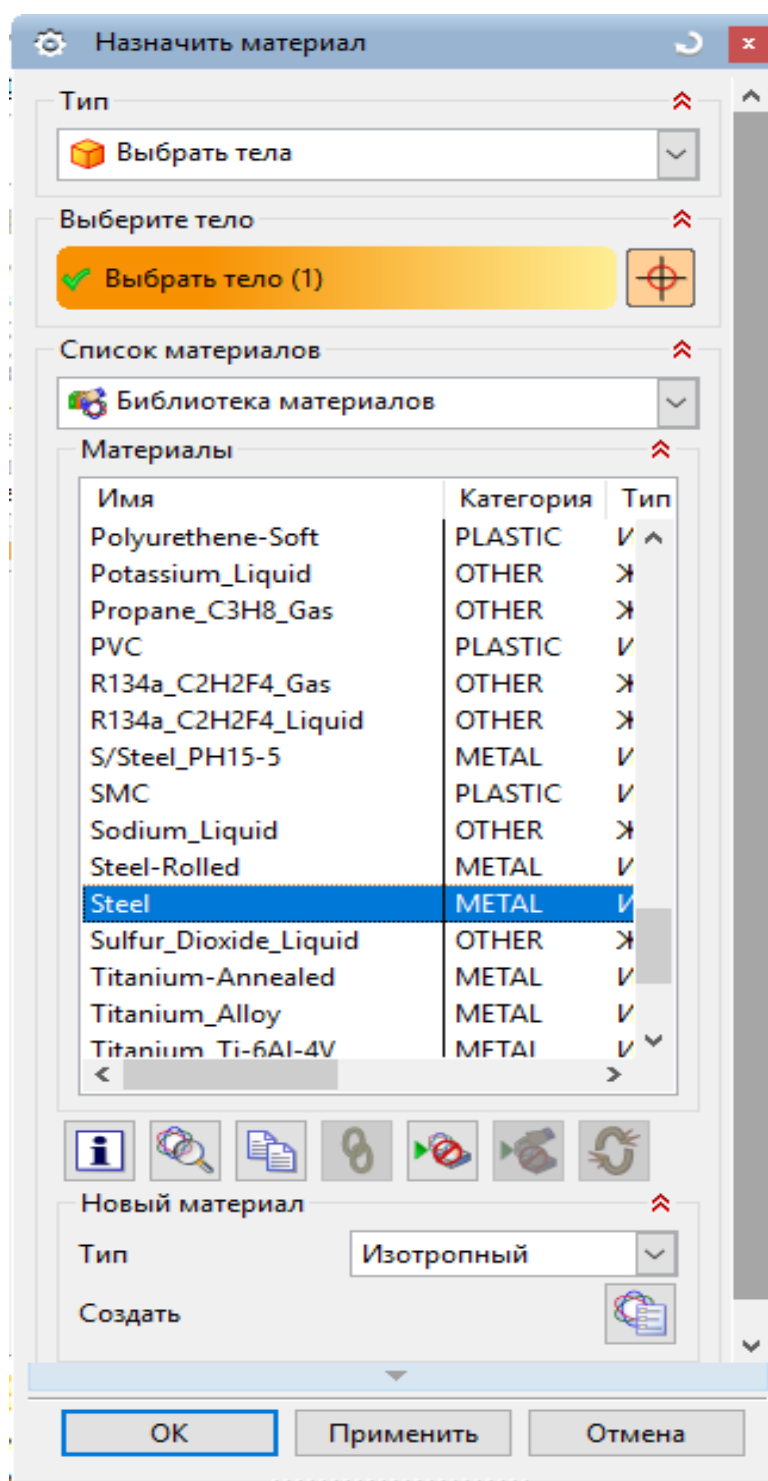


Рис. 3.29. Диалоговое окно «Назначить материал»

Для обновления сетки КЭ выполняют команду **Обновить конечно-элементную модель**. Элементы сетки, находящиеся рядом с ранее созданным узлом, изменят форму и перестроятся таким образом, что узел сетки станет общей вершиной этих элементов.

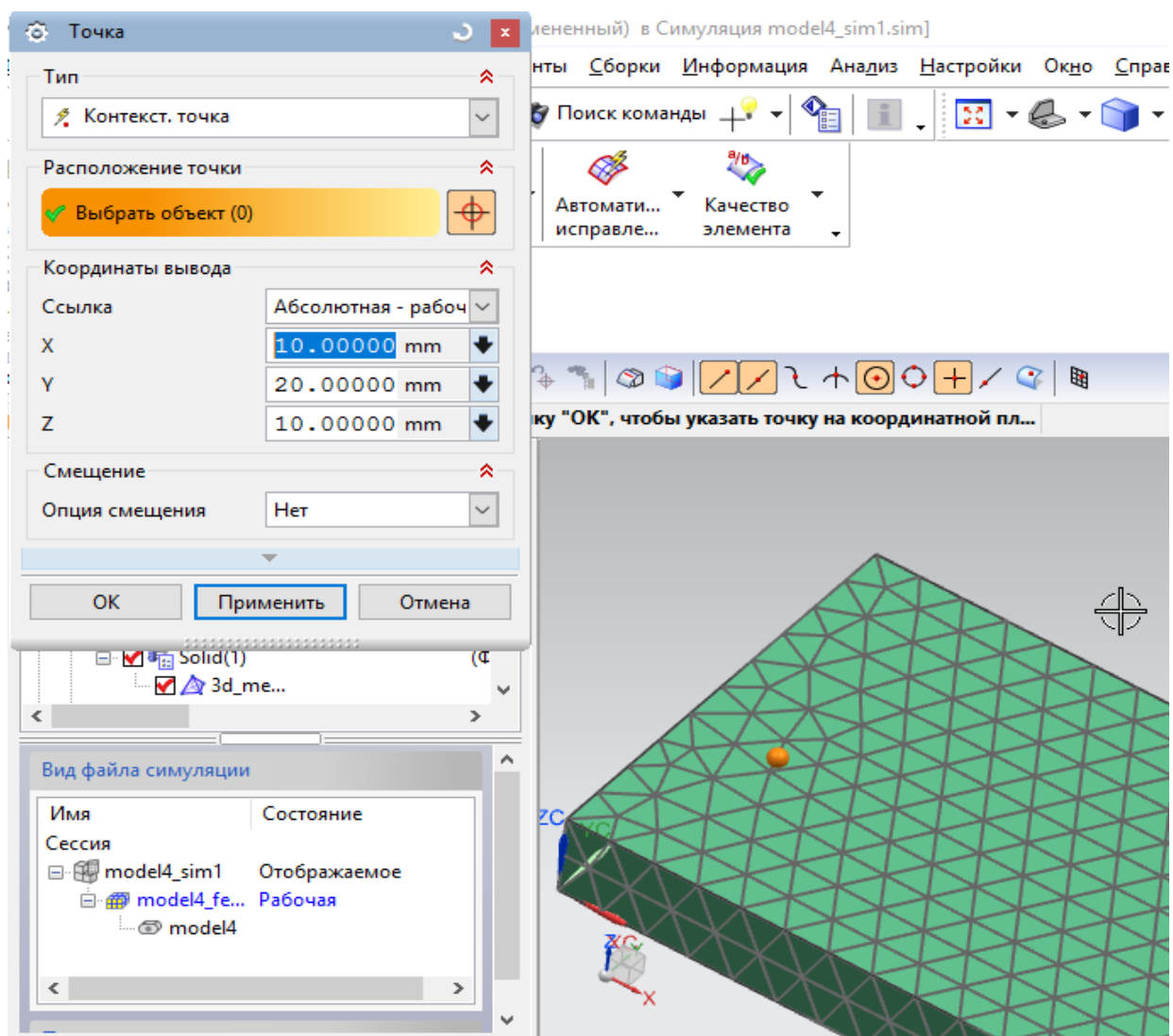


Рис. 3.30. Диалоговое окно «Точка»

8. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*sim1» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

9. Выполняют команду **Тип нагрузки** → **Сила**. В появившемся окне (рис. 3.32) в разделе **Тип** устанавливают опцию **Компоненты**. Выбирают мышью точку и в поле F_z задают значение – 60 Н, нажимают **ОК**.

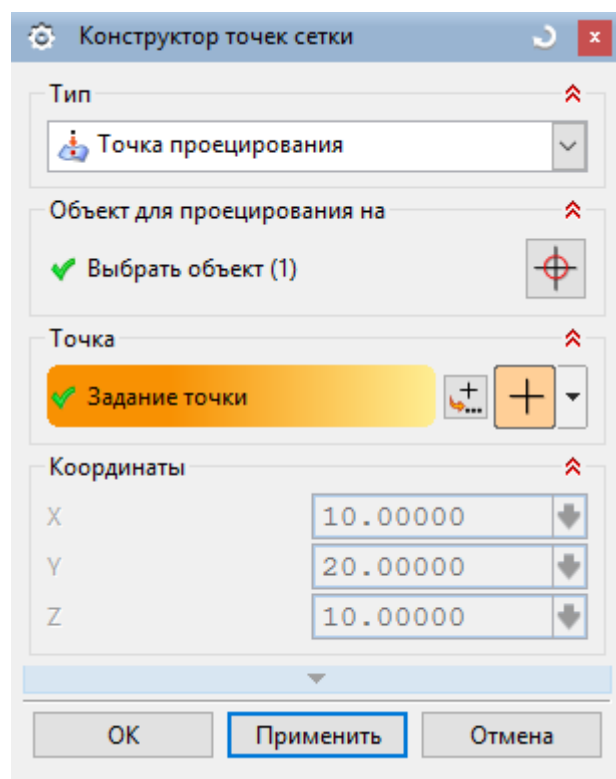


Рис. 3.31. Диалоговое окно «Конструктор точек сетки»

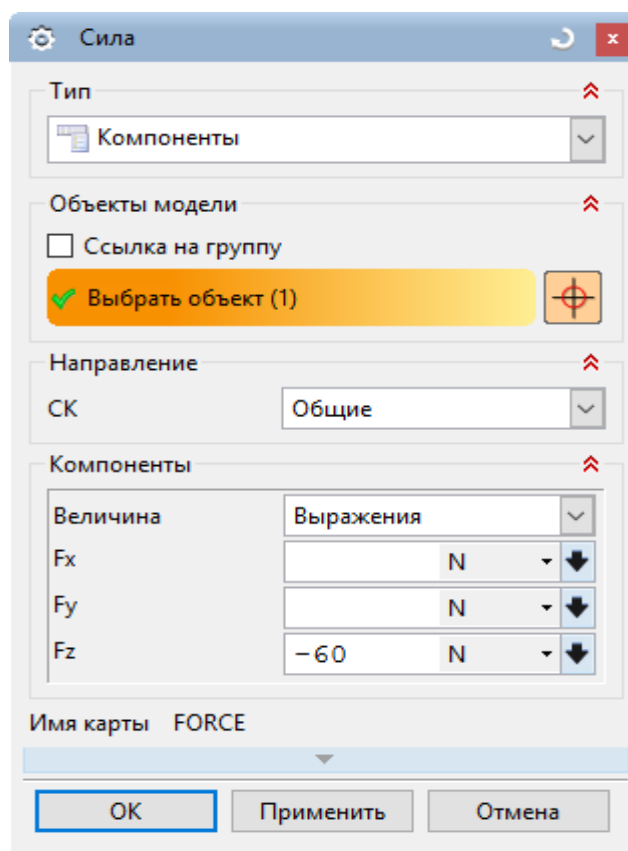


Рис. 3.32. Диалоговое окно «Сила»

Результат предыдущих действий отражен на рисунке 3.33.

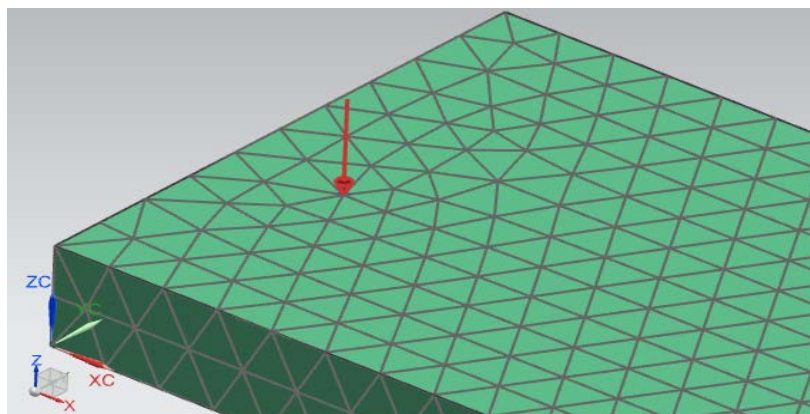


Рис. 3.33. Сосредоточенная сила, приложенная в точке

В следующем примере показано приложение распределенной нагрузки, действующей на часть грани объекта.

1 – 5. Выполняют действия, описанные в пунктах 1 – 5 предыдущего примера. Однако при выполнении третьего пункта в окне **Новая конечно-элементная модель и симуляция** (см. рис. 3.28) опция **Создать идеализированную деталь** должна быть включена.

6. Для подготовки модели с целью приложения нагрузки на части верхней грани выбирают двойным щелчком мыши файл «*_fem1_i». Выполняют команду **Перенос (Вставить → Ассоциативная копия → Перенос)**. Появляется окно **Перенос тела**. Выбирают тело и нажимают **ОК**.

7. Выполняют команду **Вставить → Кривые → Прямая**. В диалоговом окне **Отрезок** в разделе **Начальные опции** на шаге **Выбрать объект** выбирают пункт **Меню точки**. Последовательно вводят координаты точки: $X = 50$, $Y = 0$, $Z = 10$. Нажимают **ОК** и получают точку. В разделе **Конечная опция** на шаге **Выбрать объект** выбирают пункт **Меню точки** и вводят координаты точки $X = 50$, $Y = 50$, $Z = 10$, **ОК**. В результате получают вторую точку. Нажимают **ОК** и получают отрезок на верхней грани.

8. Выполняют команду **Разделение грани (Вставить → Подготовка модели → Обрезка → Разделение грани)**. В диалоговом окне на шаге **Выбрать грань** выбирают верхнюю грань модели пластины, на которой лежит ранее созданная прямая. Переключаются на шаг **Выбрать объект** и выбирают эту прямую, нажимают **ОК**.

9. В окне **Вид файла симуляции** выбирают двойным щелчком мыши файл КЭ-модели «*_fem1». Закрывают появившееся диалоговое окно.

10. Выполняют команду **Обновить конечно-элементную модель**, после чего изменяется сетка в том месте, где была разделена грань.

11. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*_sim1» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

12. Выполняют команду **Давление (Тип нагрузки → Давление)**. Выбирают полигональную грань, к которой будет приложена нагрузка. В разделе **Величина** в поле **Давление** задают значение давления, нажимают **ОК**. Результат действий представлен на рисунке 3.34.

Для отражения условий работы объекта наряду с нагрузками задают ограничения, например, при выполнении структурного анализа ограничивают степени свободы объекта. Аналогично нагрузкам ограничения могут быть приложены как к геометрическим, так и к конечно-элементным объектам.

Рассмотрим подробно команду **Ограничение, задаваемое пользователем**, поскольку остальные команды, задающие ограничения степеней свободы при выполнении структурного анализа (см. рис. 3.27), являются ее частными случаями.

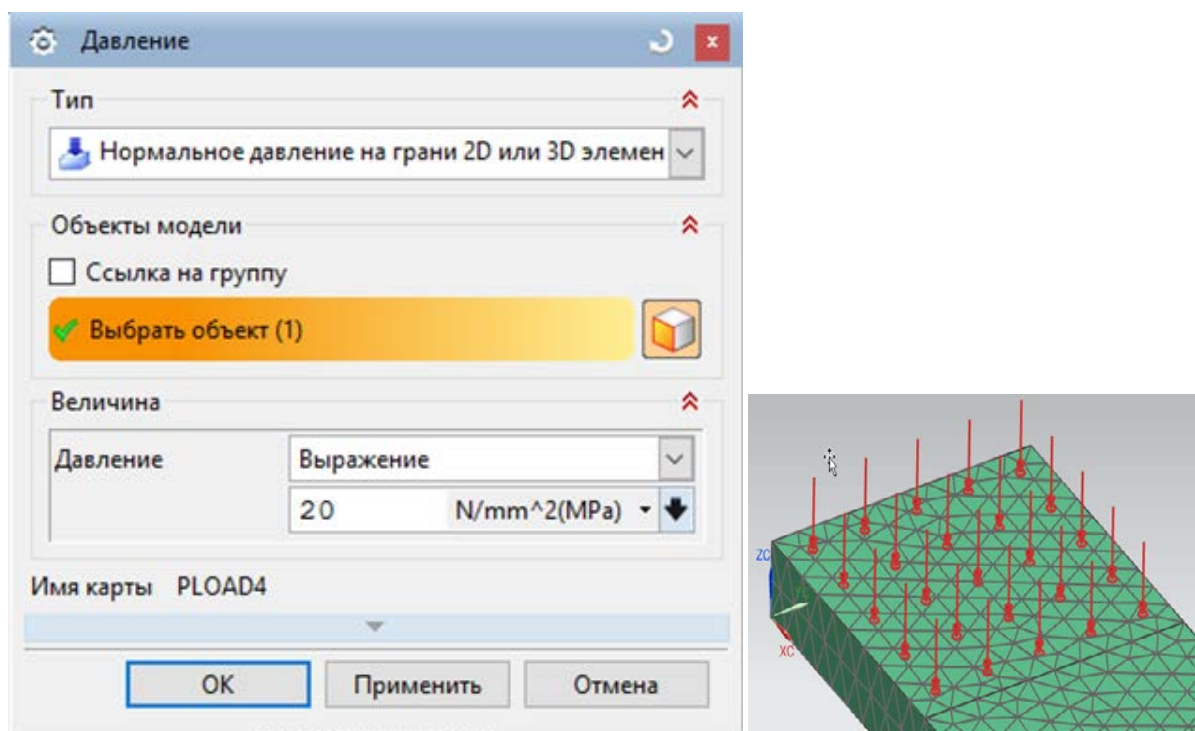


Рис. 3.34. Диалоговое окно «Давление»

Известно, что для обеспечения неподвижности в пространстве абсолютно твердого тела его необходимо лишить шести степеней свободы: трех поступательных перемещений в направлении трех осей координат и трех вращений (угловых перемещений) вокруг этих осей.

С помощью команды **Ограничение**, задаваемое пользователем, задают наличие или отсутствие степеней свободы относительно осей, связанных с объектом системы координат. В этой команде степени свободы задают через параметр **DOF** (*degree of freedom*). Этот параметр может принимать два значения – **Свободный** либо **Фиксировано**:

- **DOF 1** – наличие (**Свободный**) или отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси *X*;
- **DOF 2** – наличие (**Свободный**) или отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси *Y*;
- **DOF 3** – наличие (**Свободный**) или отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси *Z*;

- **DOF 4** – наличие (**Свободный**) или отсутствие (**Фиксировано**) вращения относительно оси X ;
- **DOF 5** – наличие (**Свободный**) или отсутствие (**Фиксировано**) вращения относительно оси Y ;
- **DOF 6** – наличие (**Свободный**) или отсутствие (**Фиксировано**) вращения относительно оси Z .

Например, шарнирно-подвижная опора (рис. 3.35) ограничивает перемещение тела по нормали к опорной плоскости (в направлении оси Z), а перемещения по касательной к опорной плоскости (в направлении оси Y) и вращения относительно оси X эта связь не лишает.

Раздел **Степени свободы** диалогового окна **Ограничение, задаваемое пользователем** при моделировании шарнирно-подвижной опоры должен соответствовать рис. 3.36.

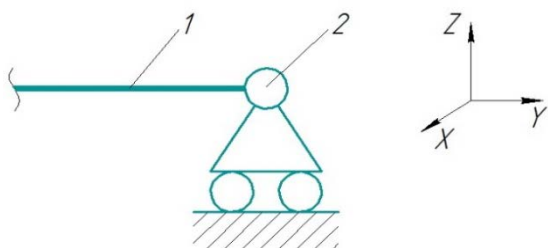


Рис. 3.35. Шарнирно-подвижная опора: 1 – балка; 2 – шарнир

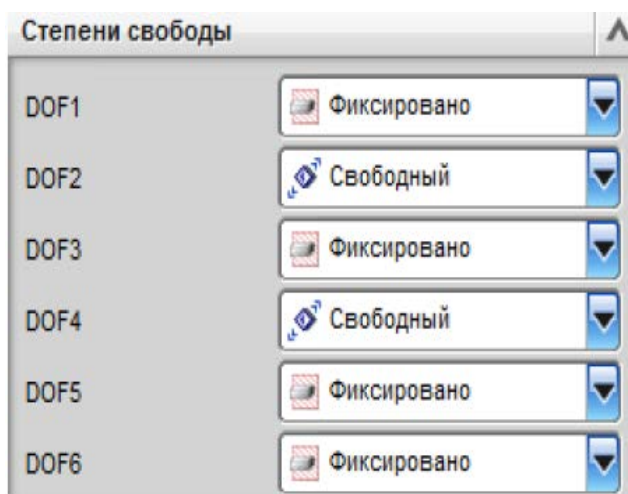


Рис. 3.36. Раздел «Степени свободы» диалогового окна «Ограничение, задаваемое пользователем»

Жесткая заделка – это закрепление, при котором конец балки не может ни поступательно перемещаться ни поворачиваться (балка лишена всех шести степеней свободы). Пространственная жесткая

заделка может быть задана при помощи команды **Заделка** панели **Тип ограничения** (см. рис. 3.26). Приложение ограничения **Заделка** осуществляется к узлам сетки, фасетным ребрам и граням.

При выполнении теплового анализа используют следующие типы ограничений: **Температура** (задают температуру элемента объекта), **Конвекция в среде** (задают условия теплообмена объекта с окружающей средой) и др.

3.5. Численное решение задачи и анализ результатов

Перед решением задачи следует оценить качество конечно-элементной и расчетной моделей. Для этого выполняют команду **Анализ → Проверка конечно-элементной модели → Настройка модели**, или выбирают кнопку **Настройка модели** на панели **Расширенная симуляция**. Выполняют проверку корректности задания нагрузок и ограничений, соответствия созданной КЭ-модели геометрической модели и проверку задания материала. Результаты проверки отображаются в окне **Информация**. Если выявляются ошибки, пользователь должен их исправить, затем произвести повторную проверку и убедиться в отсутствии ошибок, иначе запуск решения будет невозможен.

После завершения проверки КЭ-модели для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ → Вычисления**.

Чтобы оценить качество расчетной модели непосредственно перед началом расчета, в окне **Решение** (рис. 3.37) должна быть включена опция **Проверка настройки модели**.

Для выполнения решения выполняют команды **Решение** или **Анализ → Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в появившемся

диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** в появившемся диалоговом окне **Решение** (см. рис. 3.37).

По ходу расчета выполняют так называемый мониторинг хода решения. Для выявления проблем с решением на раннем этапе необходимо следить за сходимостью решателя, алгоритма, за историей решения [2 – 6]. Расчет можно считать завершенным, если в появившемся диалоговом окне **Мониторинг решения** появится надпись **Задача выполнена**, а в окне **Мониторинг анализа – Законченный**. Если эти условия выполнены, пользователь может закрыть все окна решения и перейти к анализу результатов.

Просмотр полученных результатов доступен в **Навигаторе постпроцессора**. Для перехода в режим постпроцессора необходимо на панели ресурсов выбрать **Навигатор постпроцессора** или в окне **Навигатор симуляции** дважды нажать на закладку **Результаты**. Используя **Навигатор постпроцессора**, можно просматривать результаты и управлять формой их представления, например, одновременно просматривать результаты в различных графических окнах.

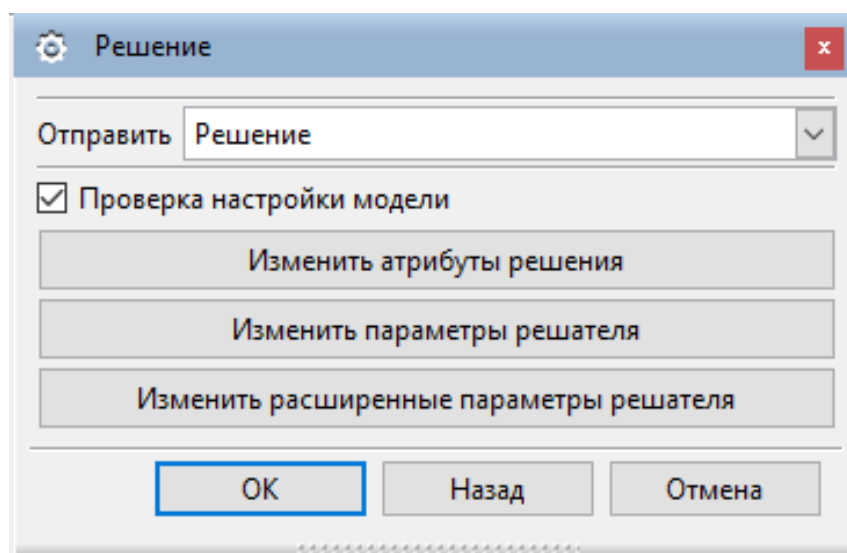


Рис. 3.37. Диалоговое окно «Решение»

Каждый открытый файл симуляции представлен узлом верхнего уровня в **Навигаторе постпроцессора**. Выбрав нажатием правой клавиши мыши необходимый узел решения, можно загрузить и выгрузить результаты, а также управлять способом их представления. Для отображения полученных результатов необходимо раскрыть узел решения в **Навигаторе постпроцессора** и двойным щелчком мыши вывести результаты в графическую область NX (рис. 3.38).

Основные операции и команды меню **Постпроцессор** для отображения вида результатов, управления видом модели, а также для количественной оценки полученных данных представлены на рисунке 3.39.

Команда **Изменить вид** отвечает за вызов диалогового окна **Вид постпроцессора**. Это окно содержит инструменты, управляющие отображением и визуализацией результатов в графическом окне.

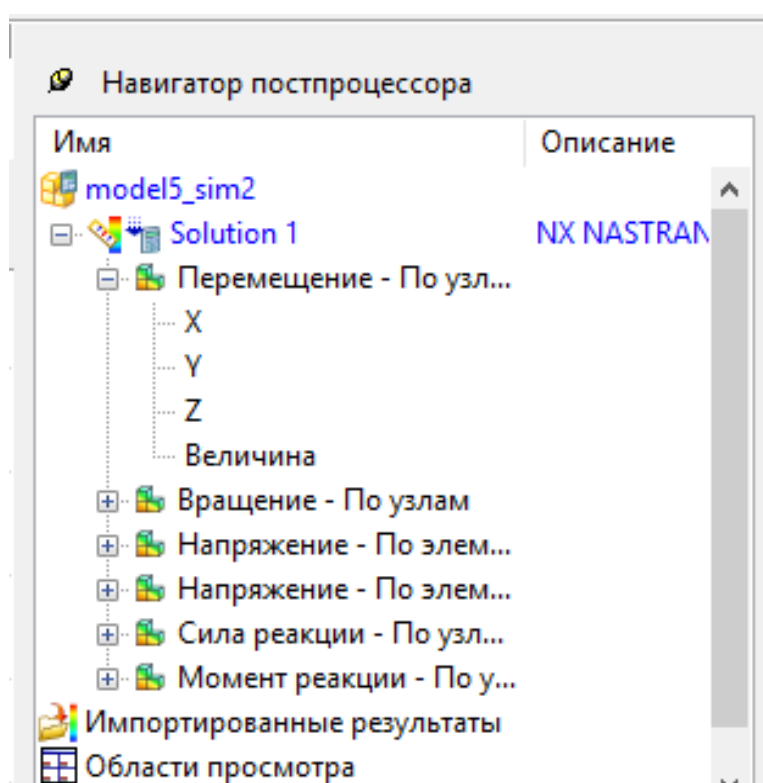


Рис. 3.38. Общий вид «Навигатора постпроцессора»

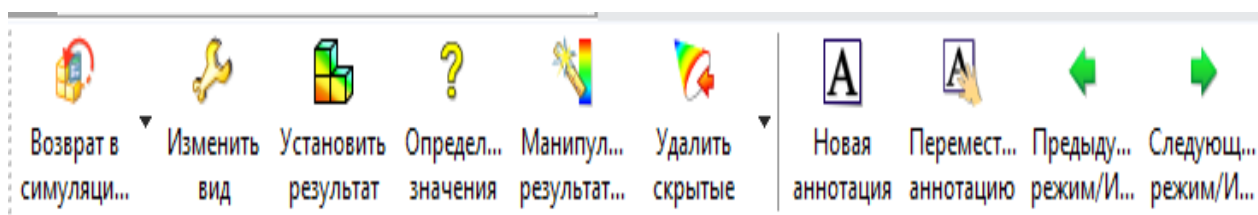


Рис. 3.39. Панель инструментов «Постпроцессор»

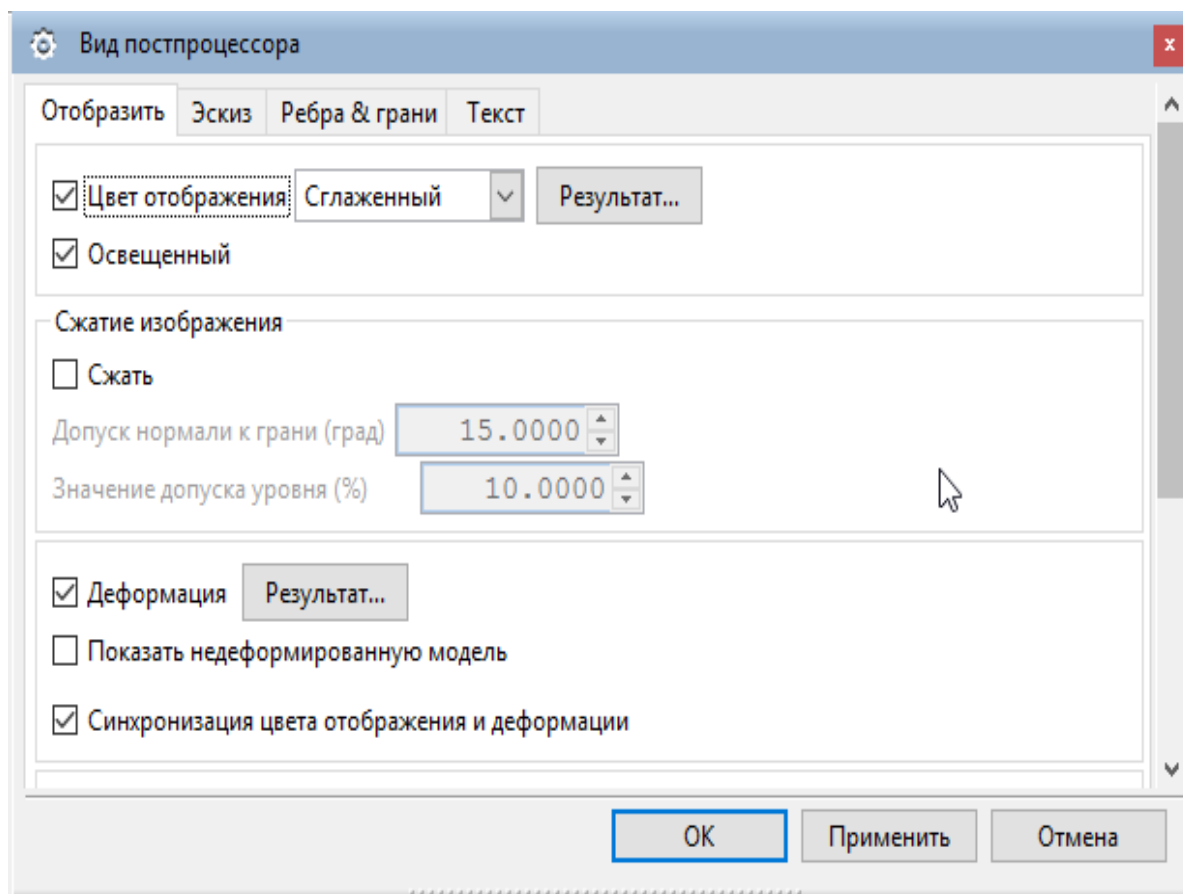


Рис. 3.40. Диалоговое окно «Вид постпроцессора»

Возможно отобразить представленные в графической форме результаты на текущей плоскости. Для этого на вкладке **Отобразить** диалогового окна **Вид постпроцессора** (рис. 3.40) в разделе **Показать** на следует выбрать опцию **Текущая плоскость** и нажать на кнопку **Опции**, чтобы выбрать ее направление и координаты (рис. 3.41).

При анализе результатов может выявиться необходимость отображения расположения узлов с максимальным и минимальным значением результатов расчета. Для этого в **Навигаторе постпроцессора** следует раскрыть строку **Post View**, затем строку **Аннотация** и

включить маркеры. Появятся аннотации, которые информируют пользователя о положении экстремумов.

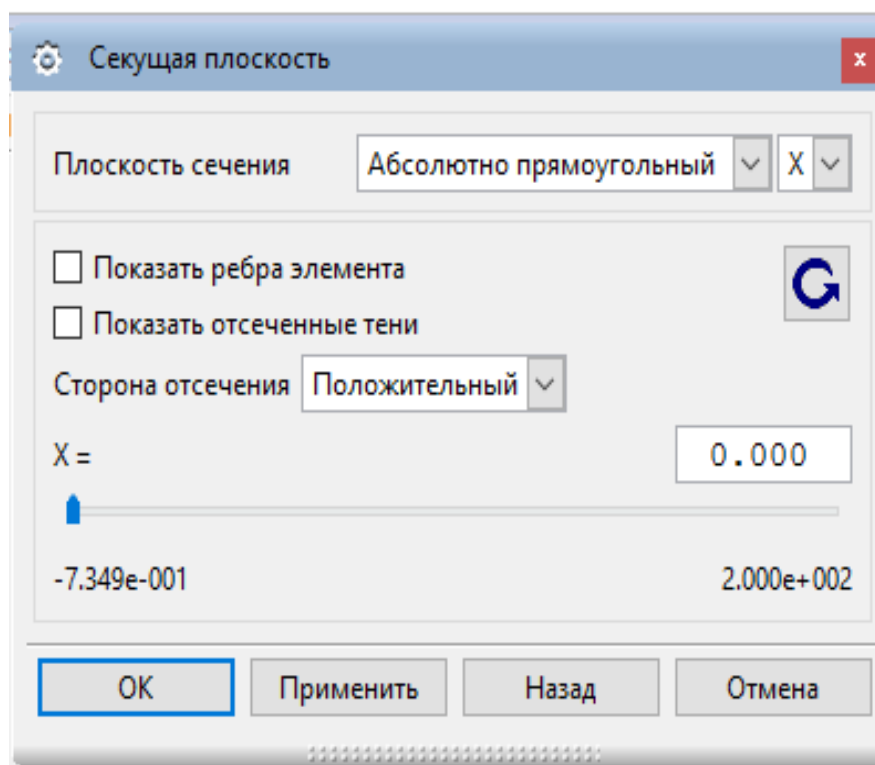


Рис. 3.41. Диалоговое окно «Секущая плоскость»

Если выполнить команду **Переместить аннотацию** на панели инструментов **Постпроцессор**, можно будет переместить аннотацию в рабочей области. После этого повторно выполняют команду **Переместить аннотацию** для отключения режима перетаскивания.

Чтобы настроить цвет заливки и шрифта аннотаций, следует вызвать контекстное меню на строках **Минимум** и (или) **Максимум**. Если в появившемся диалоговом окне **Аннотация** в разделе **Отобразить** сделать щелчок мышью в поле **Текст и цвет линий**, то в появившемся окне **Цвет** можно выбрать нужный цвет. В подразделе **Блок** раздела **Отобразить** можно выключить опцию **Заливка блока**.

Для представления результата в графической форме следует в **Навигаторе постпроцессора** раскрыть строку **Post View**, затем выбрать строку **Новый график**. В разделе **Путь** появившегося окна

График (рис. 3.42) нажимают кнопку **Создать**. Появляется диалоговое окно **Трасса**, и далее маркером выбирают узлы на модели. Нажимают **ОК** в окнах **Трасса** и **График** и получают график.

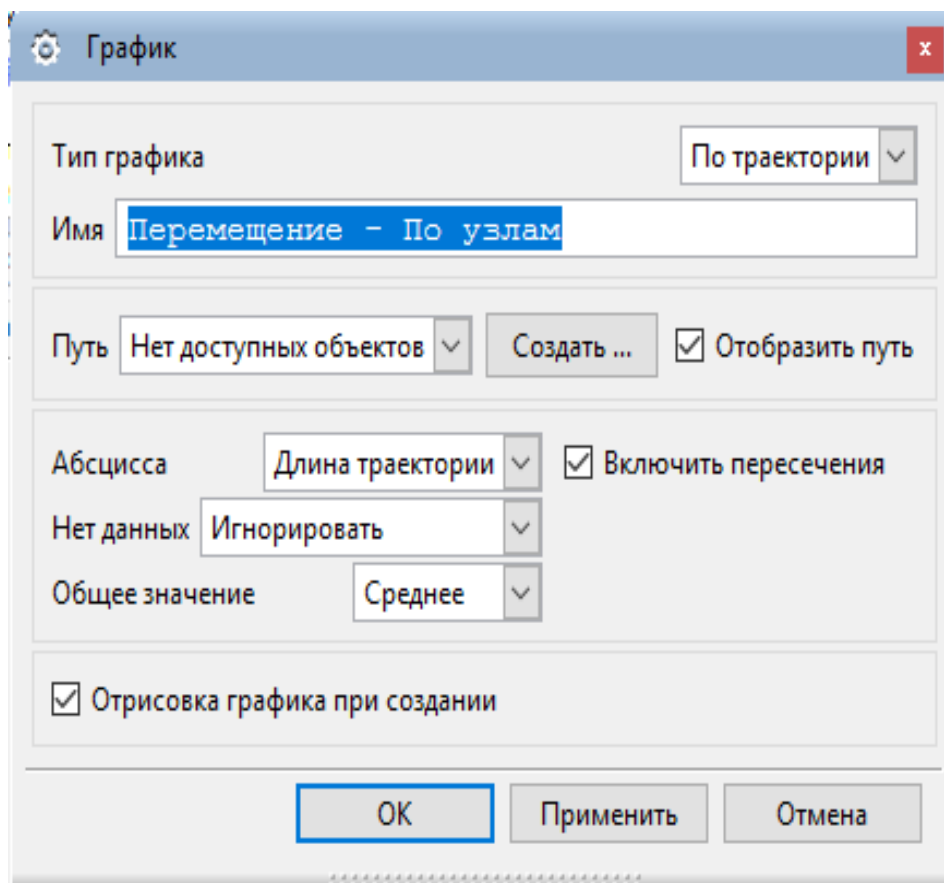


Рис. 3.42. Диалоговое окно «График»

В некоторых случаях необходимо знать среднее расчетное значение величины параметра, например, температуры резца или заготовки (детали). Для получения среднего значения выполняют команду **Вставить** → **Измерения результата**. В открывшемся диалоговом окне **Менеджер измерения результата** (рис. 3.43) следует нажать кнопку **Новый**, затем в окне **Измерение результата** (рис. 3.44) выбирают нужные параметры, задают латинскими буквами **Имя выражения** и нажимают **ОК**.

Если полученный результат не удовлетворяет критериям пользователя, или необходимо выполнить расчеты, варьируя исходными

данными, то возможен возврат к одному из предыдущих этапов расчета (симуляции) с целью изменения опций решения, КЭ-модели либо геометрической формы объекта. При этом система автоматически реализует ассоциативную связь между геометрической и расчетной моделями, корректно изменяет расчетную сетку, переносит нагрузки и т. д. Это позволяет значительно сократить время на повторное построение расчетной модели после изменения исходной.

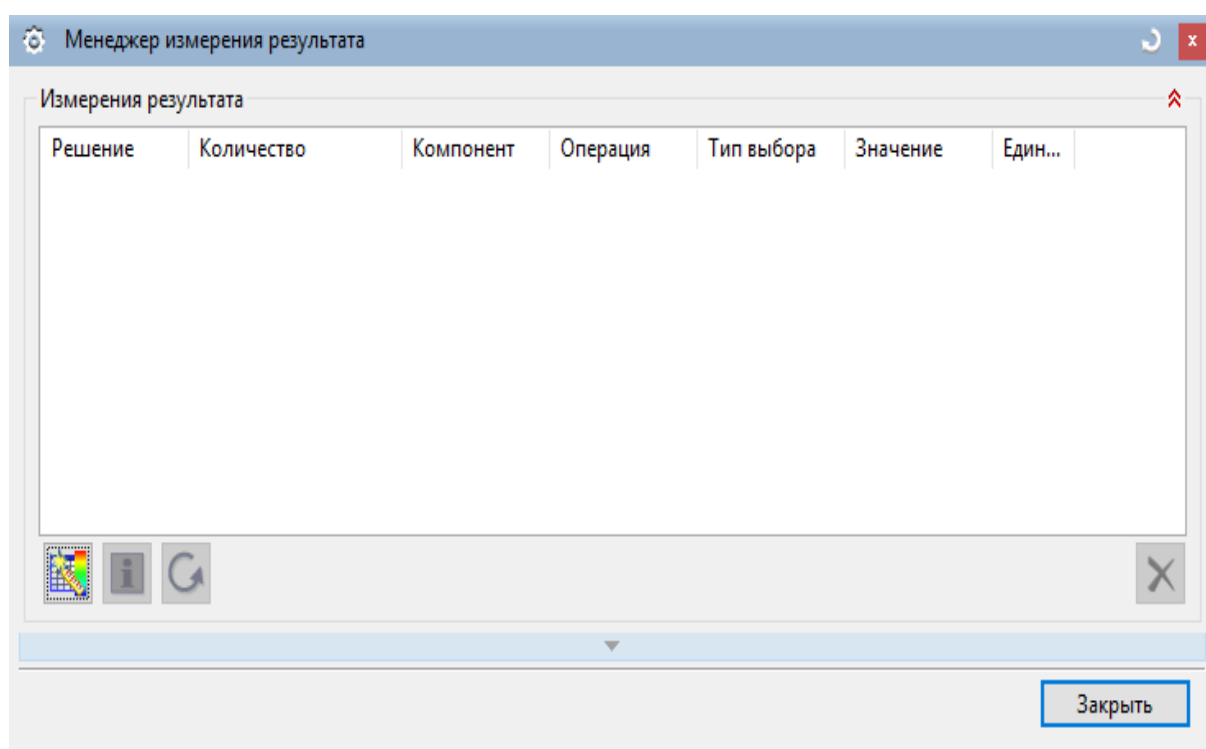


Рис. 3.43. Диалоговое окно «Менеджер измерения результата»

Чтобы вновь была отображена расчетная модель, следует выполнить команду **Возврат в симуляцию**. Если необходимо изменить величину нагрузки, например силы, следует выбрать ее мышью на расчетной модели, либо выбрать пункт **Force** в **Навигаторе симуляции** и выполнить пункт меню **Изменить**. После этого вводят новое значение нагрузки и повторяют расчеты.

Если необходимо изменить конструктивные параметры объекта, то после выполнения команды **Возврат в симуляцию** раскрывают

строку «*_fem1» (двойным щелчком мыши) в окне **Вид файла симуляции**. Вызывают контекстное меню на строке «*.prt» в окне **Навигатор симуляции** и выполняют команду **Сделать отображаемой деталью**. Выполняют команду **Начало → Моделирование** и изменяют конструктивные параметры объекта. Выполняют команду **Начало → Расширенная симуляция**.

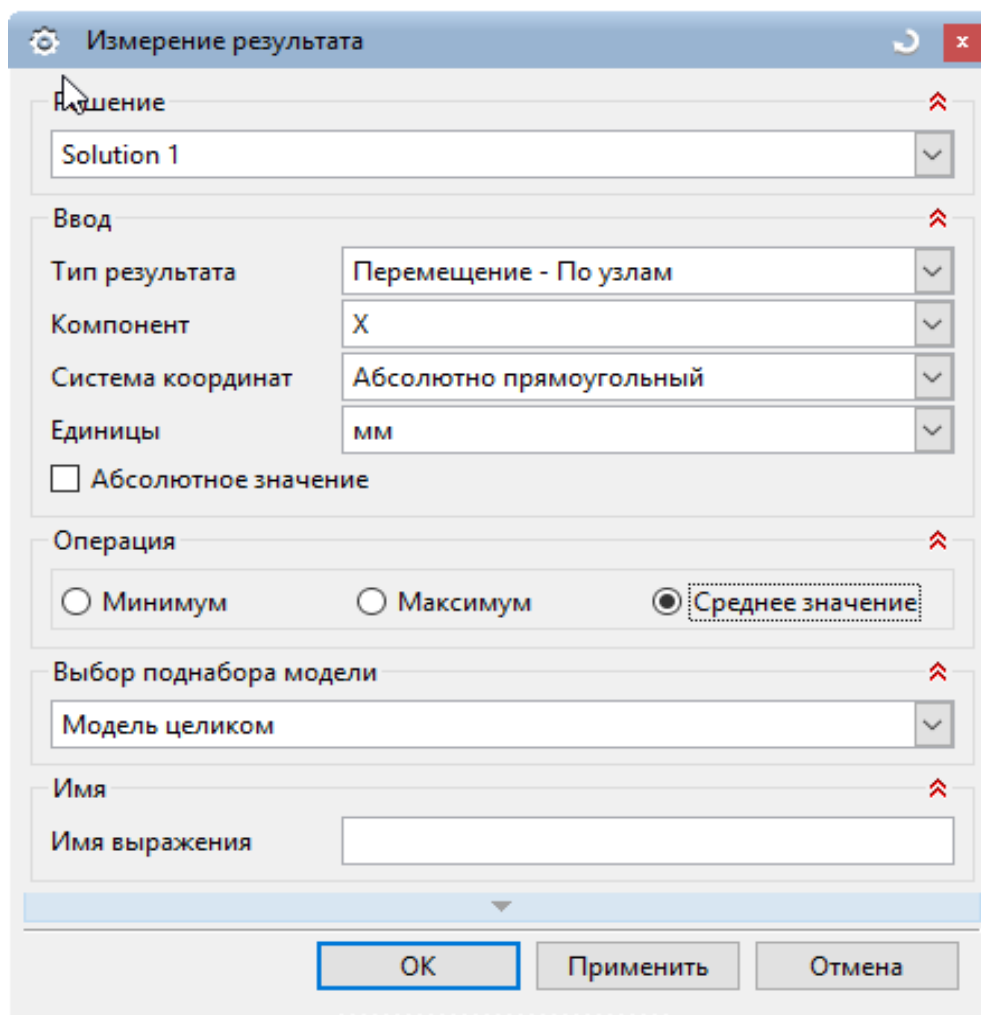


Рис. 3.44. Диалоговое окно «Измерение результата»

В **Навигаторе симуляции** на строке **.prt* вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить КЭ модель → *fem1.fem**. Закрывают диалоговое окно **Информация**.

Обновляют сетку конечных элементов при помощи команды **Обновить конечно-элементную модель**. В **Навигаторе симуляции**

на строке **fem1. fem* вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить симуляцию** → **sim 1. sim*. Вновь запускают процесс решения модели.

Для одной геометрической модели объекта можно выполнить несколько анализов (симуляций) различных типов. Для создания новой симуляции нажимают на кнопку **Возврат в симуляцию** (панель **Расширенная симуляция**). Выбирают правой кнопкой мыши файл модели в окне **Вид файла симуляции** и в появившемся меню выбирают пункт **Новая конечно-элементная модель и симуляция**. В появившемся окне выбирают решатель и тип анализа, нажимают кнопку **ОК**.

В окне **Решение** устанавливают нужные параметры, **ОК**. В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл **_fem2*, задают материал объекта и строят сетку КЭ. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл **_ sim2* и задают нагрузки и ограничения для новой симуляции.

Для одной КЭ-модели можно выполнить несколько анализов (симуляций) различных типов. Для создания новой симуляции в окне **Вид файла симуляции** выбирают двойным щелчком мыши файл **_fem1*. Затем выбирают этот файл правой кнопкой мыши и в появившемся меню выбирают пункт **Новая симуляция**. В появившемся окне (рис. 3.45) выбирают новый решатель и имя файла, **ОК**. В окне **Новая симуляция** нажимают **ОК**. В окне **Решение** выбирают решатель, тип анализа и решения, **ОК**.

В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл **_fem1* и задают материал объекта. Таким же образом выбирают файл **_fem1_ sim1* и задают нагрузки и ограничения для новой симуляции.

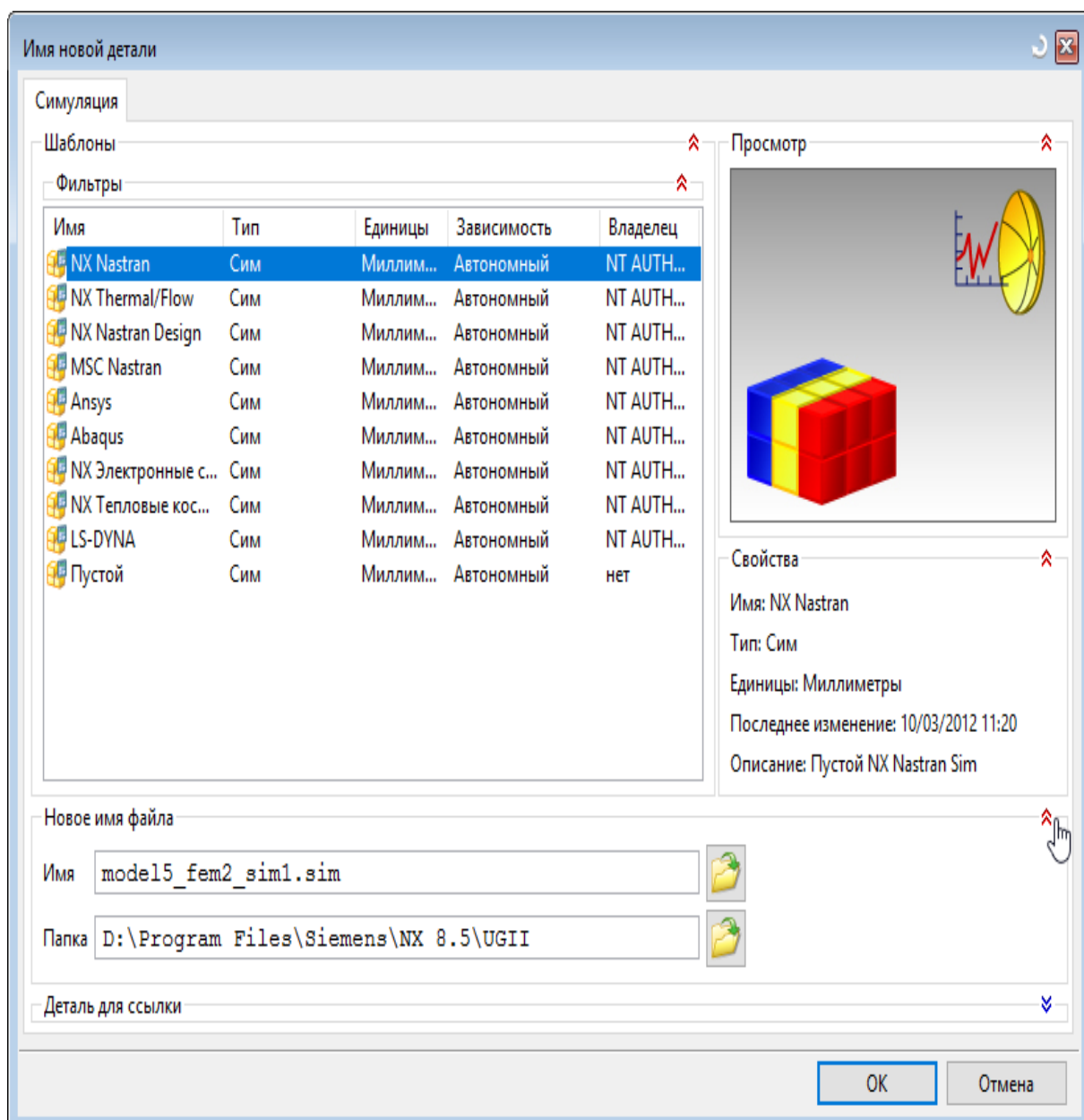


Рис. 3.45. Диалоговое окно выбора нового решателя и имя файла

Для создания отчета симуляции выполняют команды **Создание отчета** → **Отчет экспорта** (панель **Расширенная симуляция**).

Отчет (рис. 3.46) содержит сведения о решателе, типе анализа, типе решения, материале объекта, сетке КЭ, нагрузках, ограничениях, а также результаты анализа.

Отчет симуляции

Автор: Александр
Компания: Siemens PLM Software Inc
Дата: 29.03.2017
Используемое программное обеспечение: NX 8.5.0.23

Введение

Отчет решения

Окружение

Решение: Solution 1
Решатель: NX NASTRAN
Тип анализа: Структурный
Тип решения: SOL 101 Linear Statics - Global Constraints
Линейность: Линейный

Навигатор симуляции:

Имя	Состояние	Фильтр	Окружение	Описание
ads_10_1_A_sim1.sim	Отображаемое & Рабочая		По умолчанию: NX NASTRAN - Структурный	
ads_10_1_A_fem1.fem			По умолчанию: NX NASTRAN - Структурный	
CK		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Группы		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Наборы DOF		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Области		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Области				
Контейнер объекта симуляции		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Контейнер нагрузки		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Контейнер ограничения		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Solution 1	Активно		NX NASTRAN - Структурный	SOL 101 Linea
Объекты симуляции		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Ограничения		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Subcase - Static Loads 1	Активно			
Нагрузки		(Фильтр : Выкл)(Сортировка : Выкл)		
Результаты	Контекстный			
Отчет				

Резюме материала

Имя материала	Категория материала	Тип материала	Исходный		
Steel	METAL	Изотропный	Библиотека		(null)
				Альтернативное имя	
				Категория	METAL
				Подкатегория	Alloy Steel
				Плотность (RHO)	7.829e-006 кг/мм ³
				Модуль Юнга (E)	Youngs Modulus (E): (стандартное значение: 2.0694e+008 мН/мм ²
				(null)	(null)
				Коэффициент Пуассона (NU)	Poissons Ratio (NU): (стандартное значение: 0.298)
				Модуль сдвига (G)	Не задано
				Коэффициент конструкционного демпфирования (GE)	Не задано
				Напряжение-деформация (H)	Не задано
				Тип нелинейности (TYPE)	(null)
				Функция критерия текучести (YF)	(null)
				Правило упрочнения (HR)	(null)
				Начальный предел текучести (LIMIT1)	Не задано

Рис. 3.46. Отчет симуляции

4. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NX

4.1. Моделирование формы вала в продольном сечении

4.1.1. Постановка задачи

Ниже в качестве примера выполнено моделирование формы в продольном сечении консольно закрепленного вала. Вал имеет три цилиндрические шейки диаметром 20, 25 и 30 мм. Длины шеек равны 35 мм, а шейка диаметром 30 мм закреплена консольно. К цилиндрической шейке диаметром 20 мм приложена радиальная сила, равная 200 Н. Материал вала – низкоуглеродистая жаростойкая сталь *AISI_310_SS* (аналог стали 20Х23Н18). Этот материал присутствует в списке материалов встроенной библиотеки NX. Принимают допущение, что в сечении вала, совпадающем с крайней торцевой поверхностью шейки диаметром 30 мм перемещения по всем шести степеням свободы равны нулю.

4.1.2. Создание CAD-модели вала и новых файлов модели

1. Запускают NX и создают модель вала, имеющего вышеприведенные размеры (рис. 4.1).

2. Переходят в модуль «Расширенная симуляция» (Начло → Расширенная симуляция).

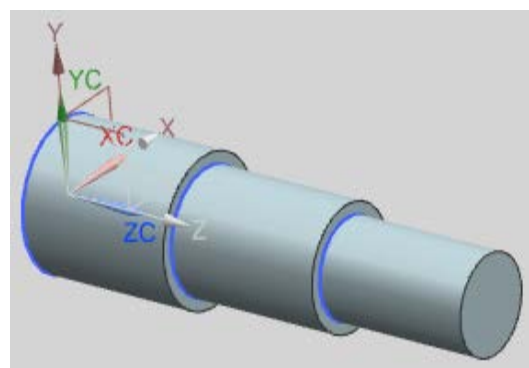


Рис. 4.1. CAD-модель вала

Производят настройку диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню **Настройки** → **Интерфейс пользователя**.

На вкладке **Общий** устанавливают опцию **Сброс настроек диалогового окна** (рис. 4.2), нажимают **ОК**.

3. Для создания конечно-элементной и расчетной моделей выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**. По другому варианту выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции**, затем выбирают опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция**. Появится диалоговое окно создания FEM файла (рис. 4.3), в качестве **Решателя** выбирают **NX Nastran**, тип анализа – **Структурный**, нажимают **ОК**. Если не предполагается выполнять идеализацию геометрии детали, то в окне **Новая конечно-элементная модель и симуляция** (см. рис. 4.3) опция **Создать идеализированную деталь** должна быть выключена. Появится новое диалоговое окно создания SIM файла (рис. 4.4), в окне **Решение** выбирают **Тип решения** – «**SOL 101 – Линейный статический анализ**», нажимают **ОК**.

Таким образом, на основе исходной CAD-модели создают FE модель и модель симуляции с соответствующими файлами.

4. При необходимости выполняют идеализацию модели, для чего выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши файл «* fem1_i» в окне **Вид файла симуляции** и переходят к идеализированной модели. При этом появляется окно с предупреждением о том, что если необходимо выполнить какие-либо операции с геометрической моделью вала, то следует создать ассоциативную копию геометрической модели, **ОК**. Выполняют команду **Перенос** (панель инструментов «**Расширенная симуляция**») или выполняют последовательно команды **Вставить** → **Ассоциативная копия** → **Перенос** для создания ассоциативной копии, затем выбирают объект (в данном случае ступенчатый вал).

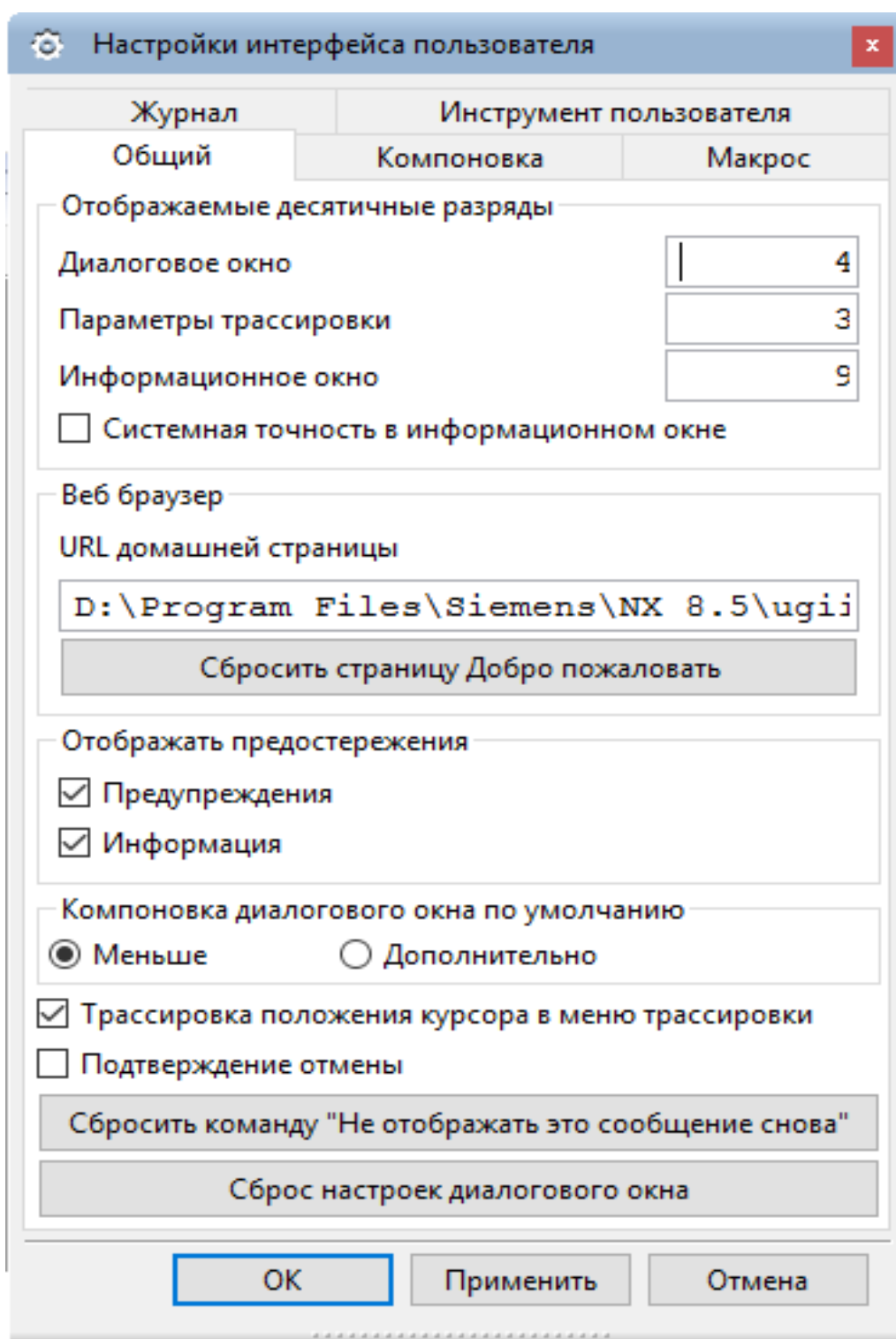


Рис. 4.2. Окно настройки интерфейса пользователя

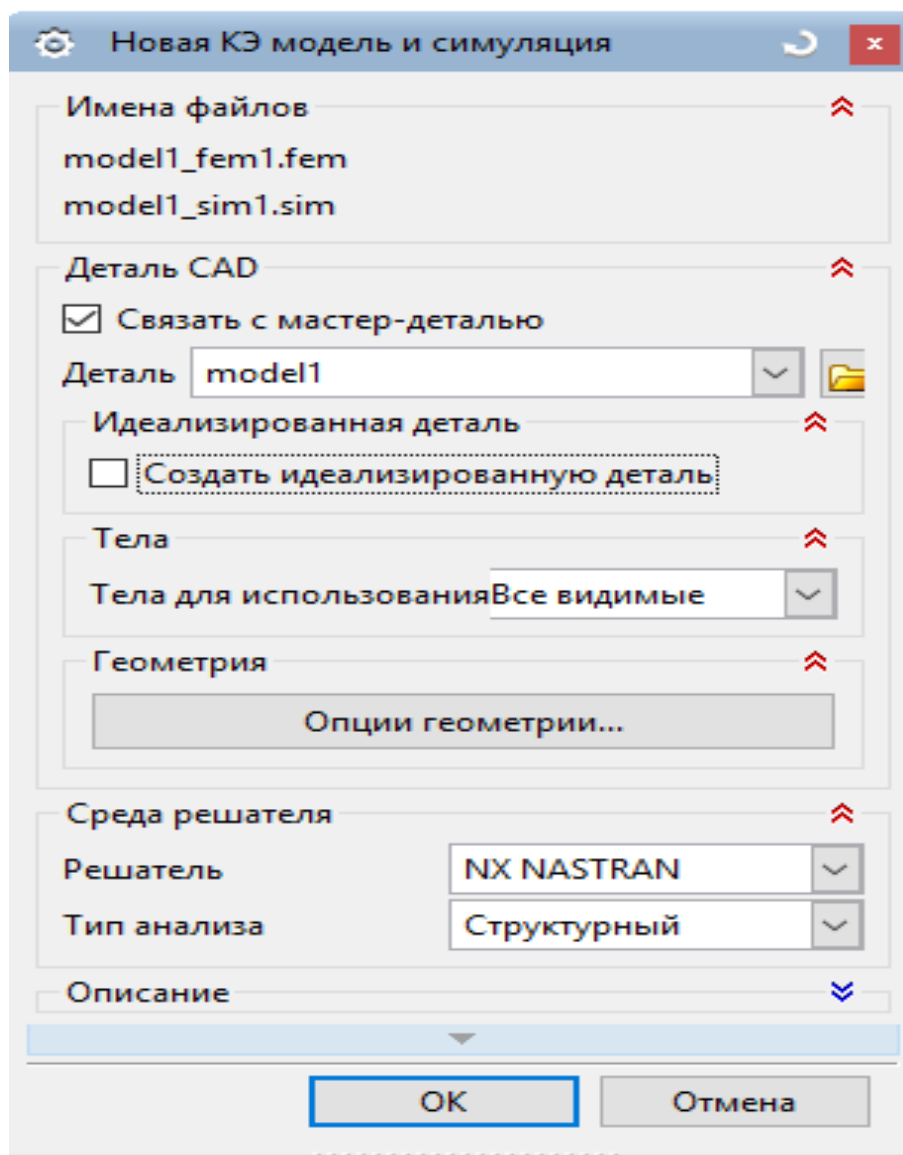


Рис. 4.3. Диалоговое окно создания FEM файла

В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «*_fem1».

4.1.3. Создание конечно-элементной модели

1. Выполняют команду **3D-тетраэдральная сетка** (панель инструментов «**Конечно-элементная модель**»), которая создает сетку из многогранных элементов. В появившемся окне (рис. 4.5) выбирают следующие опции:

Решение

Решение

Имя

Solution 1

Решатель

NX NASTRAN

Тип анализа

Структурный

Тип решения

SOL 101 Linear Statics - Global Constraints

SOL 101 Linear Statics - Global Constraints

Просмотр

Настройки расчета	База данных	Параметры
Общий	Управление файлами	Управление выполнением
Описание		
Системные параметры Нет		
☒ Итерационный решатель элемента		
Опции итерационного решателя Нет		
☐ Игнорировать температурную зависимость материала		
Начальные температуры по умолчанию (TEMP) C ▾		
Температуры материала по умолчанию (TEMP) C ▾		
☐ Понимать CGAP как линейные контактные элементы		
Параметры кругового маршрута Нет		
☐ Выполнить задачу		

Рис. 4.4. Диалоговое окно создания SIM файла

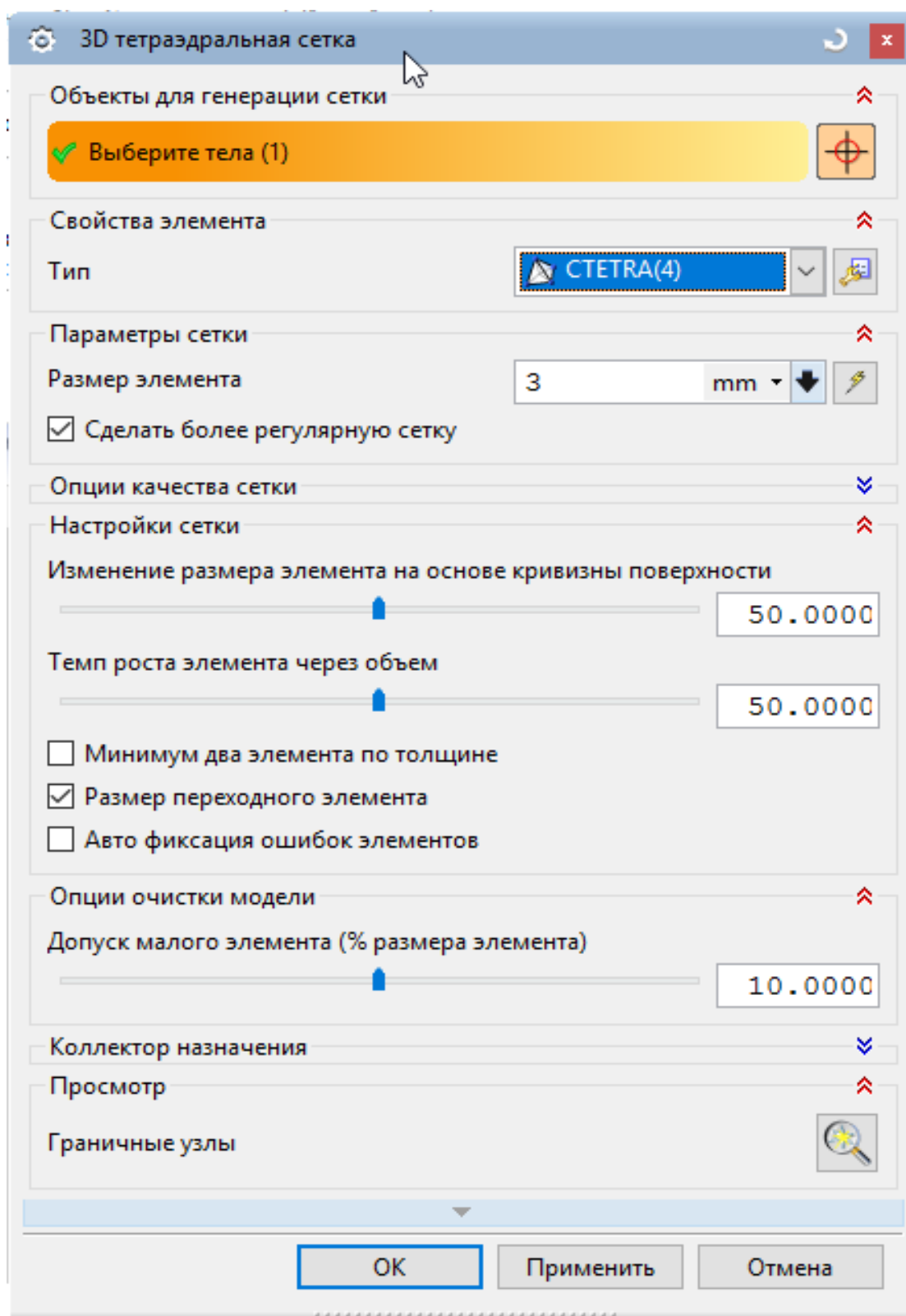


Рис. 4.5. Окно «3D-тетраэдральная сетка»

– **Выберите тела** – выбирают созданную модель детали двойным щелчком мыши.

- **Тип** – выбирают тип элементов, например **CTETRA(4)**.
- **Размер элемента** – 3...4 мм, либо нажимают кнопку – **Автоматический размер элемента**.
- Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание (Коллектор назначения)**, нажимают **ОК**.

2. Задают материал заготовки вала – сталь *AISI_310_SS*.

В данном случае материал задают из библиотеки материалов. В выпадающем списке **Назначить материалы** выбирают одноименный пункт **Назначить материалы**. В появившемся диалоговом окне **Назначить материалы** (см. рис. 3.21) в разделе **Тип** выбирают пункт **Выбрать тела**, после чего выбирают модель. В разделе **Список материалов** следует выбрать пункт **Библиотека материалов**. Из списка выбирают материал – сталь *AISI_310_SS*, нажимают **ОК**.

При использовании альтернативного способа назначения материала в окне **Навигатор симуляции** выбирают правой клавишей мыши коллектор *Solid(1)* (должны быть раскрыты контейнеры «*_fem1.fem» и «3D коллекторы»), затем выбирают опцию **Изменить**. В диалоговом окне **Коллектор сеток** (рис. 4.6) нажимают левой клавишей мыши на кнопку **Изменить** (напротив **Свойства тела**). В новом окне изменения физических свойств **PSOLID** (рис. 4.7) нажимают на кнопку **Выбрать материал** (напротив **Материал**).

В появившемся окне **Список материалов** (рис. 4.8) выбирают материал. Нажимают **ОК** во всех диалоговых окнах.

3. Для сохранения модели (при необходимости) нажимают правой клавишей мыши на «*_fem1» в окне **Вид файла симуляции** и выбирают **Сохранить**.

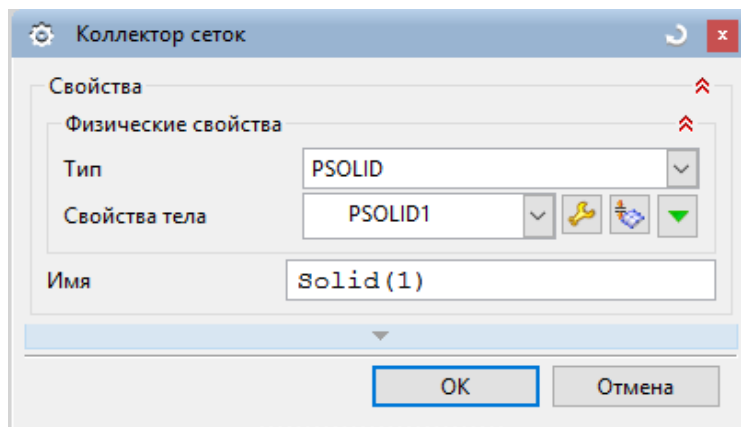


Рис. 4.6. Окно «Коллектор сеток»

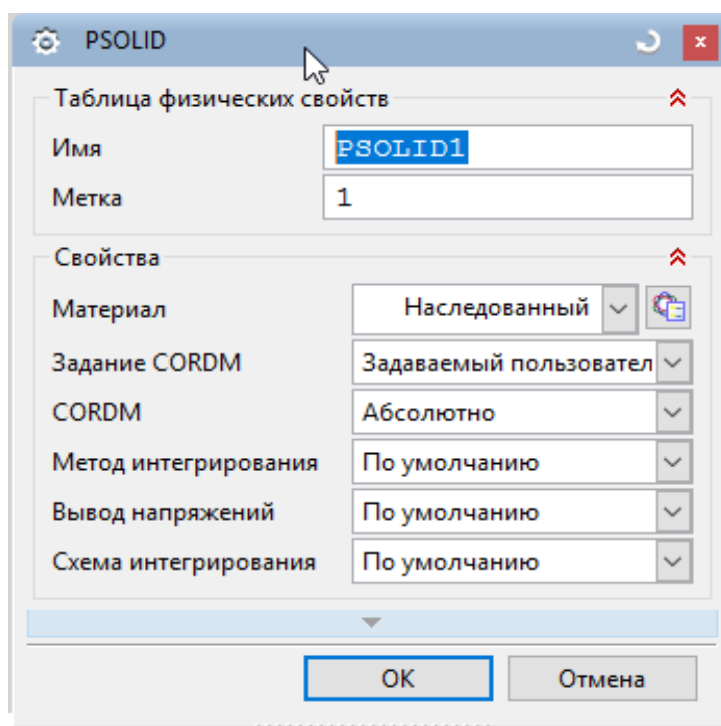


Рис. 4.7. Окно изменения физических свойств

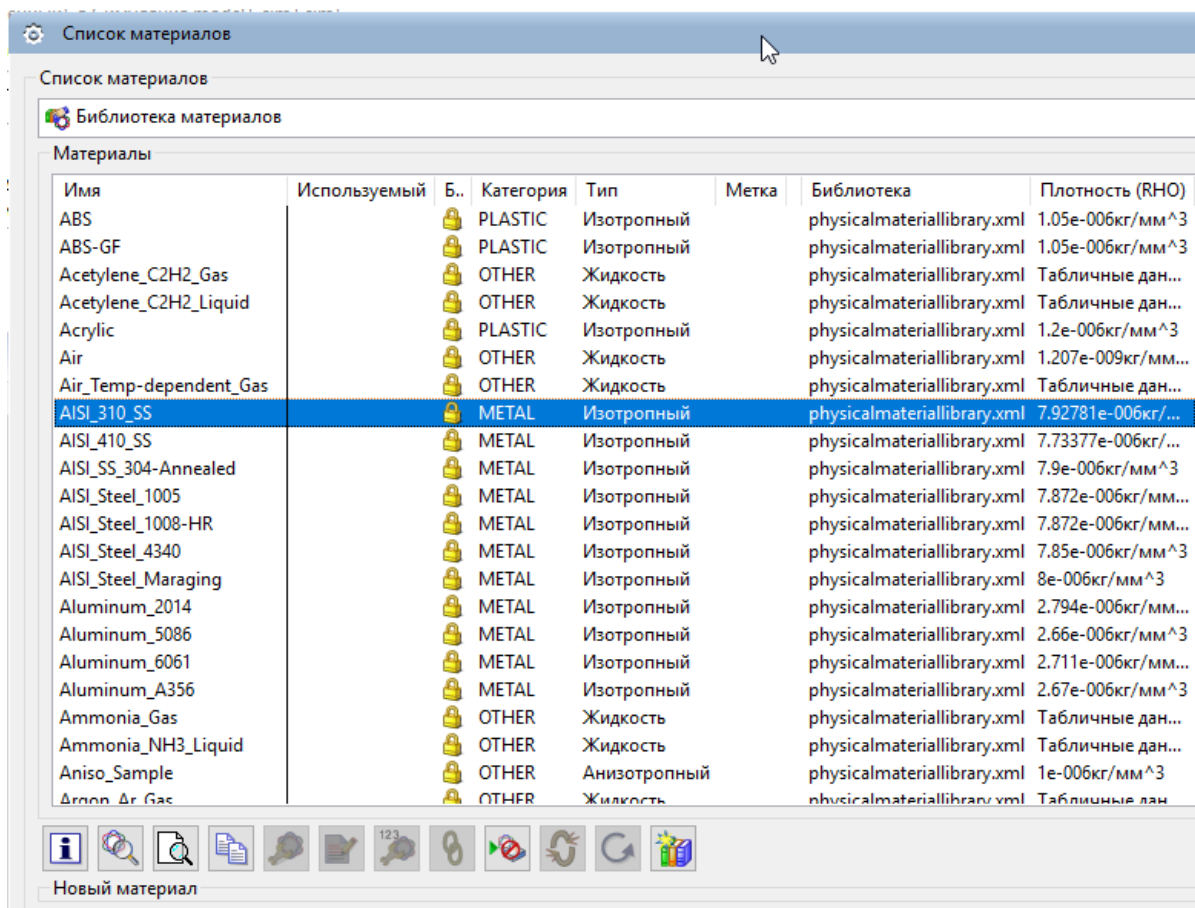


Рис. 4.8. Окно «Список материалов»

4.1.4. Задание нагрузок и граничных условий

На данном шаге задают граничные условия и нагрузки, включают решатель и выполняют расчет.

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «* sim1» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

2. Для задания ограничения на степени свободы выполняют команду **Заделка** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «Расширенная симуляция»).

Появляется диалоговое окно с опцией **Выбрать объект** (рис. 4.9). Для выбора объекта указывают на торец шейки диаметром 30 мм (двойной щелчок левой клавишей мыши), нажимают **ОК**.

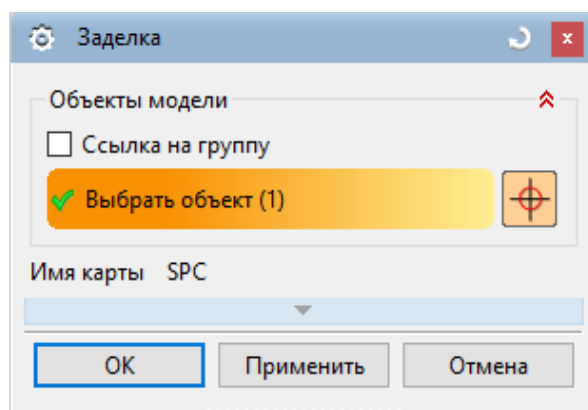


Рис. 4.9. Окно команды «Заделка»

3. Прикладывают к модели заготовки вала силу резания, для чего из выпадающего меню **Тип нагрузки** (панель инструментов «**Расширенная симуляция**») выбирают команду **Сила**. В диалоговом окне (рис. 4.10) выбирают пункты:

- **Выбрать объект** – выбирают точку на пересечении цилиндрической шейки диаметром 20 мм и торца.
- **Сила** – в соответствующее поле (см. рис. 4.10) вводят значение силы, равное 200 Н (см. 4.1.1).
- **Задать вектор** – выбирают направление, при котором прикладываемая сила совпадет с осью ХС (см. рис. 4.1).
- Нажимают **ОК**.

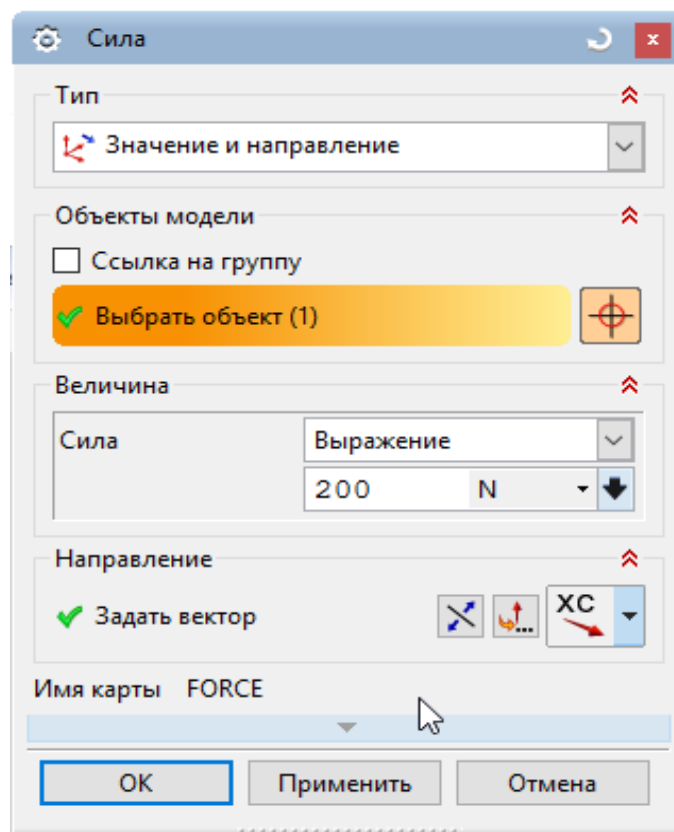


Рис. 4.10. Окно команды «Сила»

В результате создается расчетная модель вала (рис. 4.11).

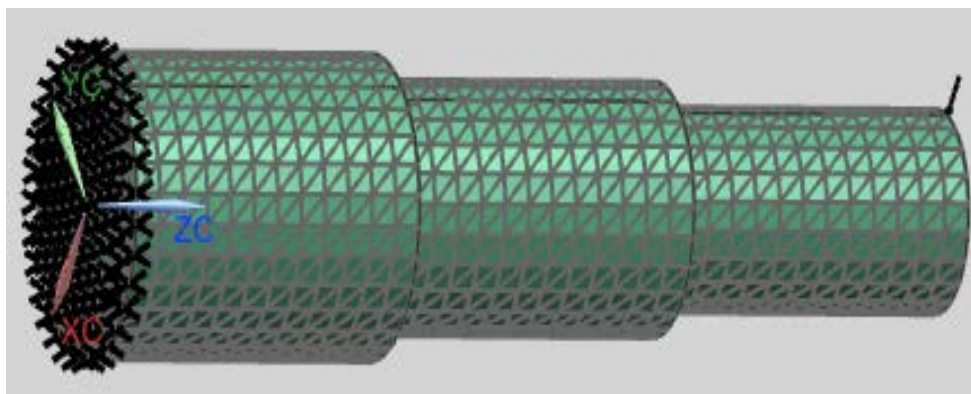


Рис. 4.11. Расчетная модель ступенчатого вала

4.1.5. Выполнение статического анализа

1. Устанавливают опции и параметры решения задачи, для чего в дереве модели окна **Навигатор симуляции** указывают правой кла-

вишей мыши на вкладку **Solution 1** и выбирают **Изменить**. В появившемся диалоговом окне **Решение** (рис. 4.12) устанавливают необходимые параметры, на вкладке **Общий** устанавливают опцию **Итерационный решатель элемента** и нажимают **ОК**.

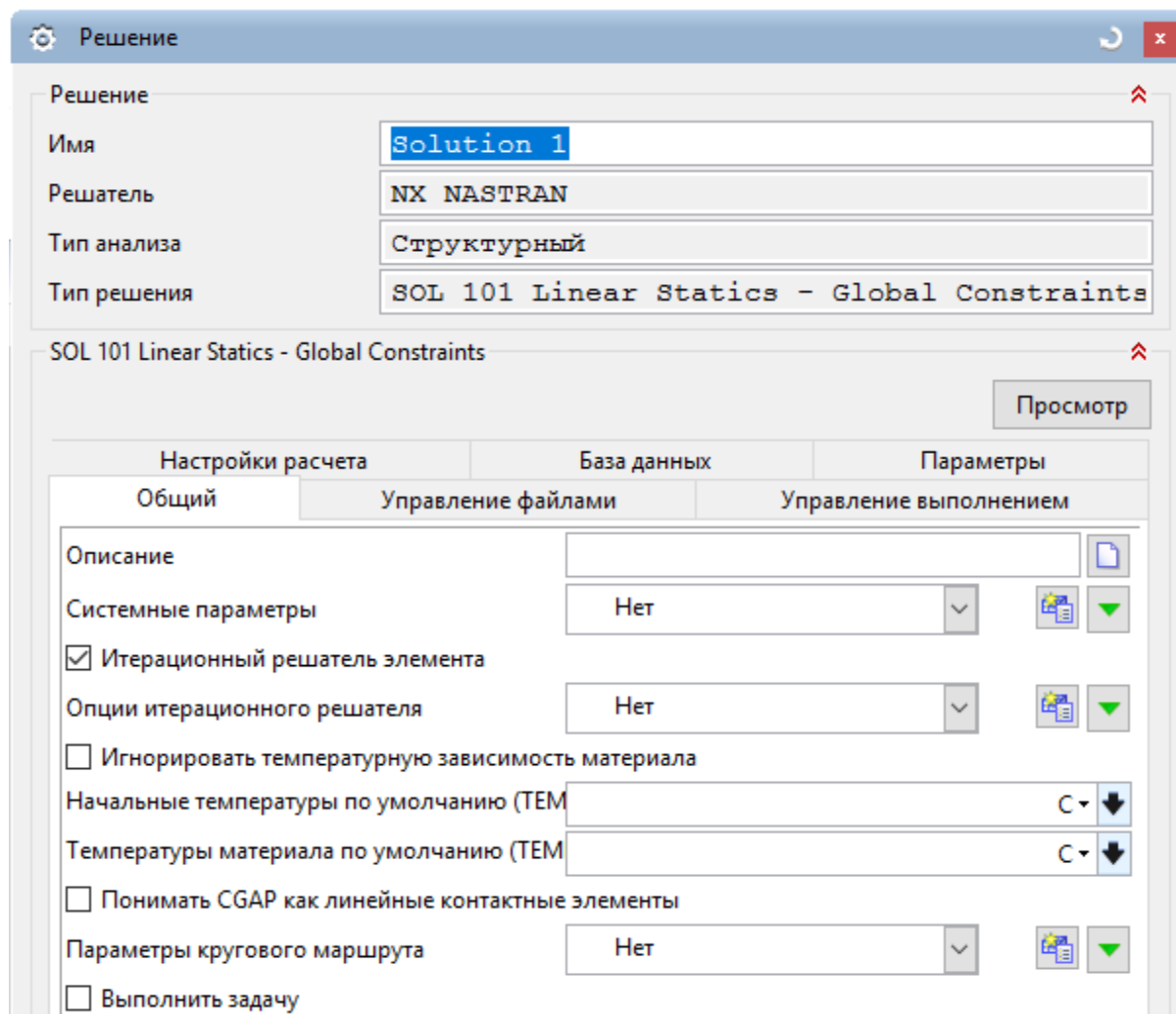


Рис. 4.12. Окно «Решение»

2. При необходимости модель сохраняют.
3. Оценивают качество конечно-элементной и расчетной моделей. Для этого выполняют команду **Анализ** → **Проверка конечно-элементной модели** → **Настройка модели**, или выбирают кнопку **Настройка модели** на панели **Расширенная симуляция**. Выполняется проверка задания нагрузок и ограничений, соответствия создан-

ной КЭ-модели геометрической модели и проверка задания материала. Результаты проверки отображаются в окне **Информация**.

4. Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ** → **Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в появившемся диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** во вновь диалоговом окне **Решение** (рис. 4.13).

4. После завершения работы решателя NX **Nastran** закрывают все появившиеся окна.

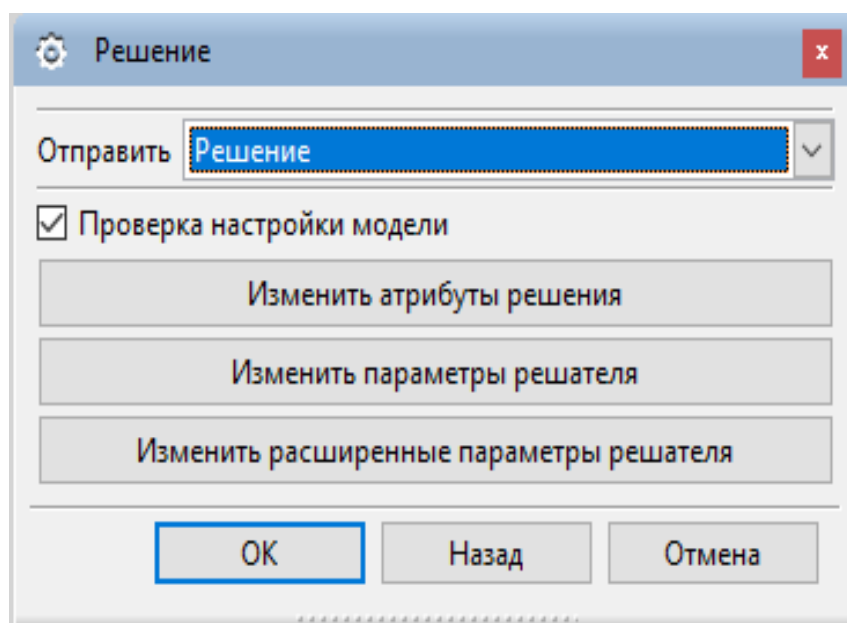


Рис. 4.13. Окно запуска модели на решение

4.1.6. Просмотр результатов статического анализа

1. В дереве модели окна **Навигатор симуляции** выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши вкладку **Результаты**, за счет чего переходят на вкладку **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами. Для просмотра результатов раскрывают вкладку **Solution 1** (рис. 4.14), выбирают нужный параметр, в данном случае **Перемещение - По узлам**, двойным нажатием левой клавиши

мышь выбирают нужное направление, в данном случае совпадающее с осью X (рис. 4.15).

В появившемся графическом окне (рис. 4.16) отобразится деформированное состояние ступенчатого вала.

Из результатов моделирования следует, что при данных условиях максимальная деформация вала составит 0,0153 мм.

2. Чтобы выявить деформацию при других условиях, выполняют команду **Возврат в симуляцию**. Если необходимо изменить величину силы, выбирают мышью ее графическое изображение на расчетной модели, либо в **Навигаторе симуляции** раскрывают строку **Контейнер нагрузки**, выбирают пункт **Force** и выполняют пункт меню **Изменить**. После этого вводят новое значение силы и повторяют расчеты.

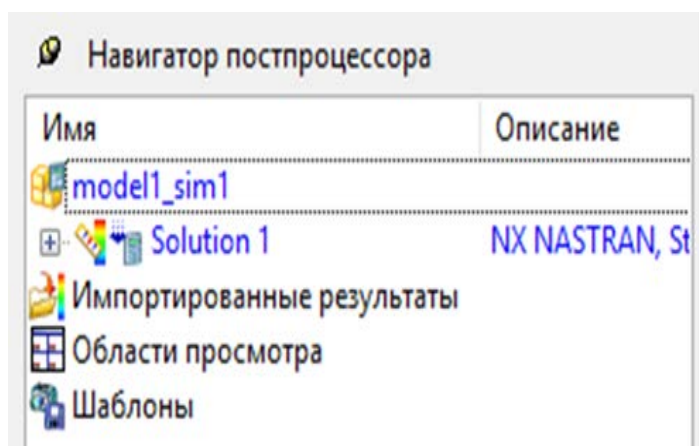


Рис. 4.14. Вкладка «Навигатор постпроцессора»

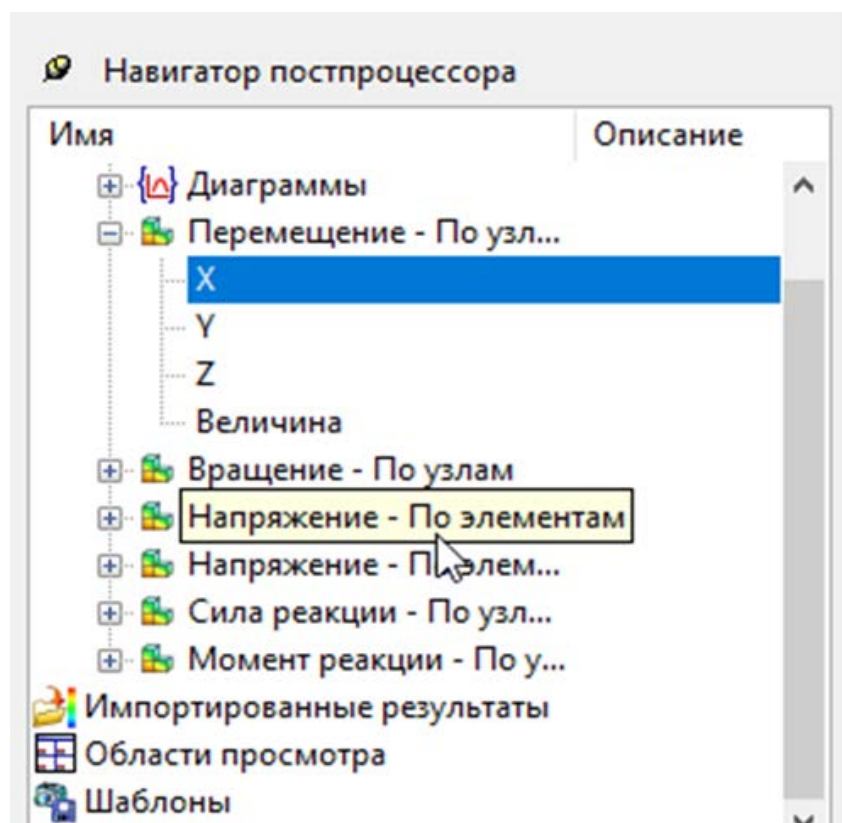


Рис. 4.15. Вкладка «Навигатор постпроцессора» с выбранным параметром

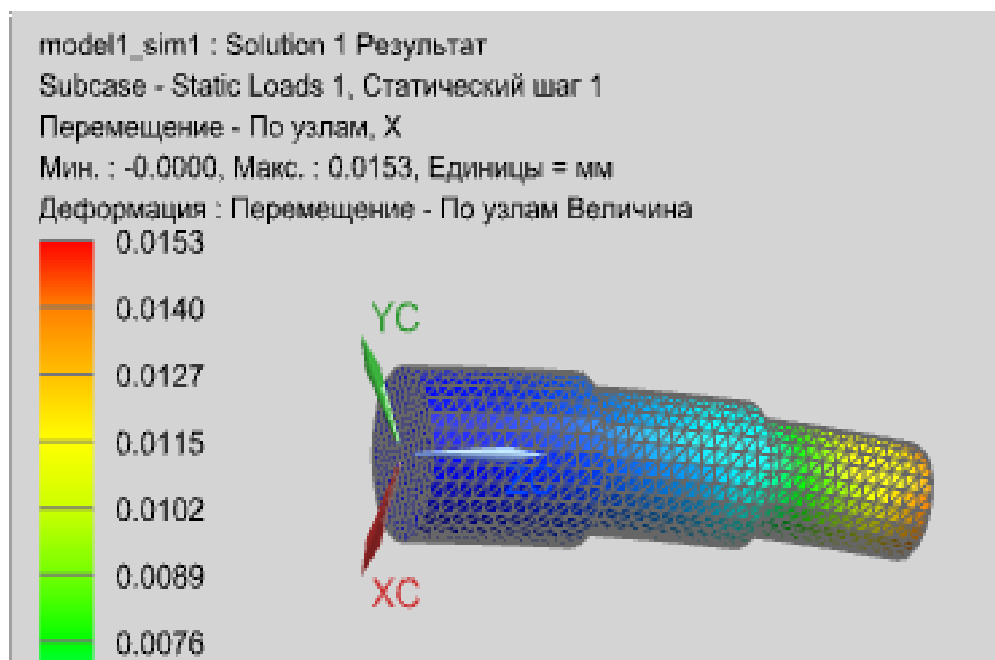


Рис. 4.16. Графическое окно, отображающее результат решения

Если, например, нагрузить вал силой, равной 400 Н, то максимальная деформация составит 0,035 мм.

3. Если необходимо изменить конструктивные параметры вала, то после выполнения команды **Возврат в симуляцию** раскрывают строку «*_*fem1*» (двойным щелчком мыши) в окне **Вид файла симуляции**. Вызывают контекстное меню на строке «*_*.prt*» в окне **Навигатор симуляции** и выполняют команду **Сделать отображаемой деталью**. Выполняют команду **Начало → Моделирование** и изменяют конструктивные параметры вала. Выполняют команду **Начало → Расширенная симуляция**.

В **Навигаторе симуляции** на строке *_*.prt* вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить КЭ модель → → *_*fem1.fem***. Закрывают диалоговое окно **Информация**.

Обновляют сетку конечных элементов при помощи команды **Обновить конечно-элементную модель**. В **Навигаторе симуляции** на строке *_*fem1.fem* вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить симуляцию → *_*sim 1.sim***. Вновь запускают процесс решения модели.

4.2. Моделирование формы и оценка прочности ступенчатого вала, установленного в подшипниках

4.2.1. Постановка задачи

Ниже в качестве примера приведены действия при моделировании формы и оценки прочности ступенчатого вала, установленного в подшипниках и нагруженного радиальными и касательными силами. Цилиндрическая шейка диаметром 200 мм нагружена касательной силой, равной 4680 Н, и радиальной силой 1685 Н; на цилиндрическую шейку диаметром 300 мм действуют касательная и радиальная силы, равные 3120 и 1123 Н соответственно. Крайние шейки вала установ-

лены в подшипниках качения, причем один из подшипников лишает вал степени свободы в направлении, совпадающем с осью вала. Материал вала – конструкционная сталь 45, отсутствующая в списке материалов встроенной библиотеки программного комплекса NX.

Необходимо оценить форму и прочность вала.

4.2.2. Создание CAD-модели вала и новых файлов модели

1. Запускают NX и создают модель вала (рис. 4.17).

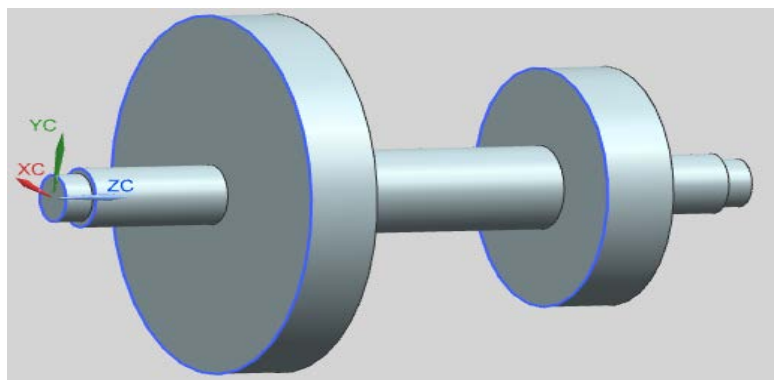


Рис. 4.17. CAD-модель ступенчатого вала

2. Переходят в модуль «Расширенная симуляция» (Начало → Расширенная симуляция).

Производят настройку диалоговых окон.

3. Для создания конечно-элементной и расчетной моделей выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**, либо выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции** или **Вид файла симуляции**, затем выбирают опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция**.

Появляется диалоговое окно создания FEM файла, в качестве **Решателя** выбирают **NX Nastran**, тип анализа – **Структурный**, нажимают **ОК**. Если идеализацию геометрии детали выполнять не

предполагается, то в окне **Новая конечно-элементная модель и симуляция** опция **Создать идеализированную деталь** должна быть выключена. Появляется новое диалоговое окно создания SIM файла, в окне **Решение** выбирают **Тип решения** – «**SOL 101 – Линейный статический анализ**», нажимают **ОК**.

Если предполагается выполнять идеализацию модели, то выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши файл «* *fem1_i*» в окне **Вид файла симуляции** и переходят к идеализированной модели. При этом появляется окно с предупреждением о том, что если необходимо выполнить какие-либо операции с геометрической моделью вала, то следует сделать ассоциативную копию геометрической модели, **ОК**. Выполняют команду **Перенос** (панель инструментов «**Расширенная симуляция**») для создания ассоциативной копии, затем выбирают объект (в данном случае ступенчатый вал). В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «* *_fem1*».

4.2.3. Создание конечно-элементной модели

1. Выполняют команду **3D-тетраэдральная сетка** (панель инструментов **Конечно-элементная модель**), указывают:

- **Выберите тела** – выбирают созданную модель вала двойным щелчком мыши.

- **Тип** – выбирают тип элементов, например **СТЕТРА(4)**.

- **Размер элемента** – 8 ... 10 мм, либо нажимают кнопку – **Автоматический размер элемента**.

- Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание (Коллектор назначения)**, нажимают **ОК**.

2. Задают материал вала – сталь 45. Этот материал отсутствует в библиотеке, поэтому его добавляют в локальную библиотеку и назначают этот материал для вала.

3. Для сохранения модели (при необходимости) нажимают правой клавишей мыши на «*_fem1» в окне **Вид файла симуляции** и выбирают **Сохранить**.

4.2.4. Задание нагрузок и граничных условий

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*...sim1» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

2. Для задания ограничения на степени свободы выполняют команду **Ограничение, задаваемое пользователем** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «Расширенная симуляция»).

Появляется диалоговое окно с опцией **Выбрать объект**. Для выбора объекта сначала указывают на одну из крайних цилиндрических шеек, нажимают **ОК**. Поскольку каждая шейка является двойной опорной базой, лишаящей вал двух степеней свободы – перемещений в направлениях осей XС и YС, то параметры DOF (degree of freedom) принимают следующие значения:

- DOF 1 – отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси X;
- DOF 2 – отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси Y;
- DOF 3 – наличие (**Свободный**) перемещения вдоль оси Z;
- DOF 4 – наличие (**Свободный**) вращения относительно оси X;
- DOF 5 – наличие (**Свободный**) вращения относительно оси Y;
- DOF 6 – наличие (**Свободный**) вращения относительно оси Z.

Повторяют указанные действия, выбирая в качестве объекта вторую цилиндрическую шейку.

Повторяют команду, выбирая в качестве объекта торцовую поверхность, примыкающую к правой по рисунку 4.17 шейке. Эта торцовая поверхность, являющаяся опорной базой, лишает вал одной степени свободы – перемещения вдоль оси ZC , поэтому лишь один параметр DOF примет значение **Фиксировано** – DOF 3 – отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси ZC ; остальные параметры примут значение **Свободный**.

3. Прикладывают к модели вала действующие на него силы, для чего из выпадающего меню **Тип нагрузки** (панель инструментов «Расширенная симуляция») выбирают команду **Сила**. В диалоговом окне выбирают следующие пункты:

- **Выбрать объект** – выбирают фасетное ребро одной из цилиндрических шеек диаметром 200 или 300 мм.
- **Сила** – в соответствующее поле вводят значение силы.
- **Задать вектор** – выбирают направление, при котором прикладываемая сила совпадет с радиальной силой, в данном случае XC .
- Нажимают **ОК**.

Выполняют команду **Сила**, прикладывая радиальную нагрузку к другой шейке вала.

Вновь выполняя команду **Сила**, прикладывают к валу не только радиальные, но и касательные силы. В результате создается расчетная модель вала, к которому приложены радиальные и касательные силы (рис. 4.18).

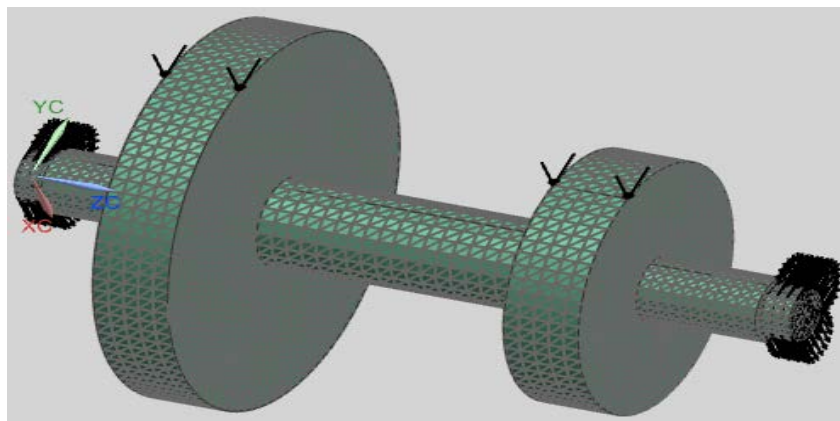


Рис. 4.18. Расчетная модель вала, нагруженного радиальными и касательными силами

4.2.5. Выполнение статического анализа

1. Устанавливают опции и параметры решения задачи, для чего в дереве модели окна **Навигатор симуляции** указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** и выбирают **Изменить**. В появившемся диалоговом окне **Решение** устанавливают необходимые параметры, на вкладке **Общий** устанавливают опцию **Итерационный решатель элемента** и нажимают **ОК**.

2. При необходимости модель сохраняют.

3. Оценивают качество конечно-элементной и расчетной моделей. Для этого выполняют команду **Анализ → Проверка конечно-элементной модели → Настройка модели**, или выбирают кнопку **Настройка модели** на панели **Расширенная симуляция**. Выполняют проверку корректности задания нагрузок и ограничений, соответствия созданной КЭ-модели геометрической модели и проверку задания материала. Результаты проверки отображаются в окне **Информация**.

4. Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ → Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** во вновь появившемся диалоговом окне.

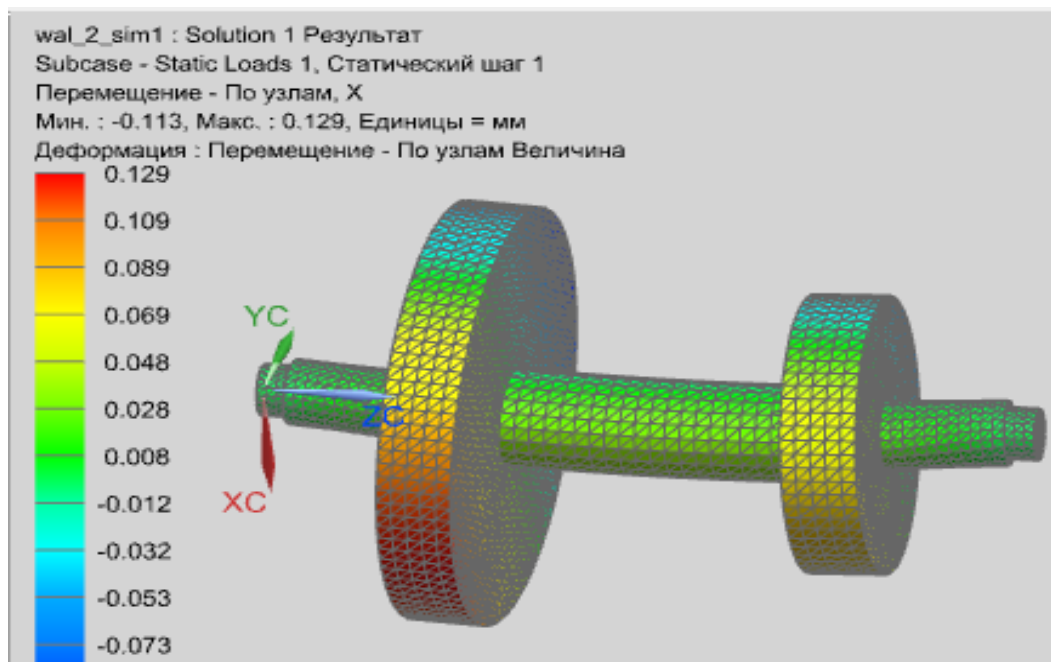
4. После завершения работы решателя NX **Nastran** закрывают все появившиеся окна.

4.2.6. Просмотр результатов статического анализа

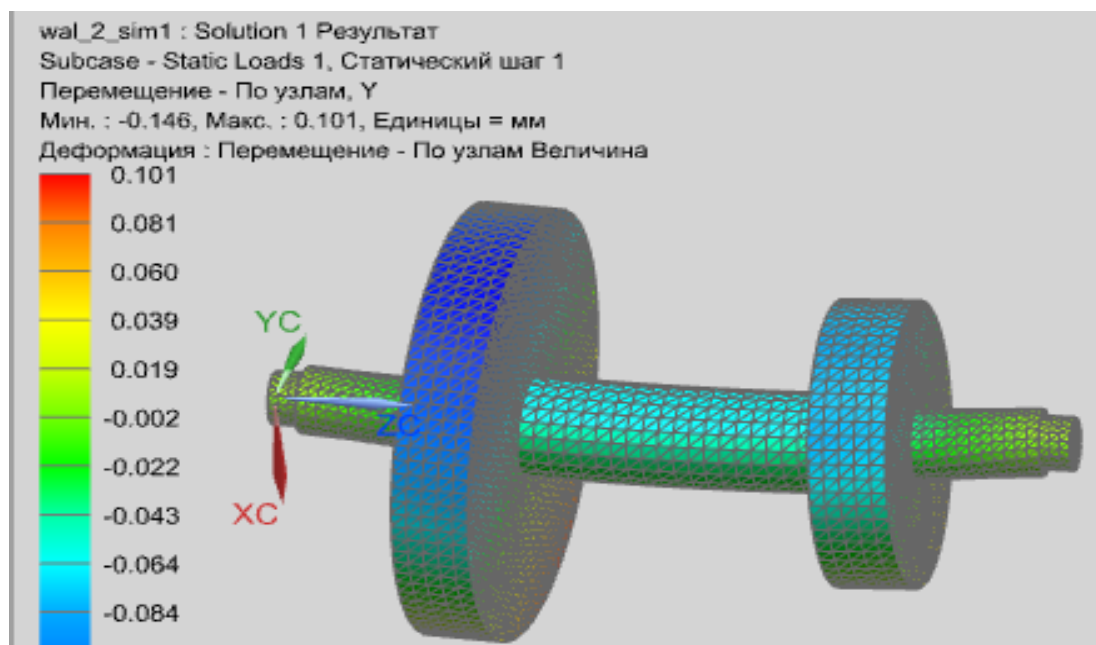
1. В дереве модели окна **Навигатор симуляции** выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши вкладку **Результаты**, за счет чего переходят на вкладку **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами. Для просмотра результатов раскрывают вкладку **Solution 1**, выбирают нужные параметры, в данном случае **Перемещение - По узлам** и **Напряжения - по элементам / узлам**.

Максимальная деформация вала, нагруженного радиальными и касательными силами, имеет место в направлении оси Y и составляет - 0,146 мм (рис. 4.19), максимальные напряжения (нормальные в направлении оси Y) – 41,4 МПа (рис. 4.20) – не превышают предела текучести материала вала.

2. Чтобы выявить деформацию вала при других условиях, выполняют команду **Возврат в симуляцию**. Если необходимо изменить величину силы, выбирают мышью ее графическое изображение на расчетной модели, либо в **Навигаторе симуляции** раскрывают строку **Контейнер нагрузки**, выбирают пункт **Force** и выполняют пункт меню **Изменить**. После этого вводят новое значение силы и повторяют расчеты.



а)



б)

Рис. 4.19. Графическое окно, отображающее результат вычисления перемещения вала, нагруженного радиальными и касательными силами:

а, б – в направлении оси X и Y соответственно

3. Если необходимо изменить конструктивные параметры вала, то после выполнения команды **Возврат в симуляцию** производят двойной щелчок мыши на строке «*_fem1» в окне **Вид файла симу-**

ляции. Вызывают контекстное меню на строке «*.prt» в окне **Навигатор симуляции** и выполняют команду **Сделать отображаемой деталью**. Выполняют команду **Начало** → **Моделирование** и изменяют конструктивные параметры вала.

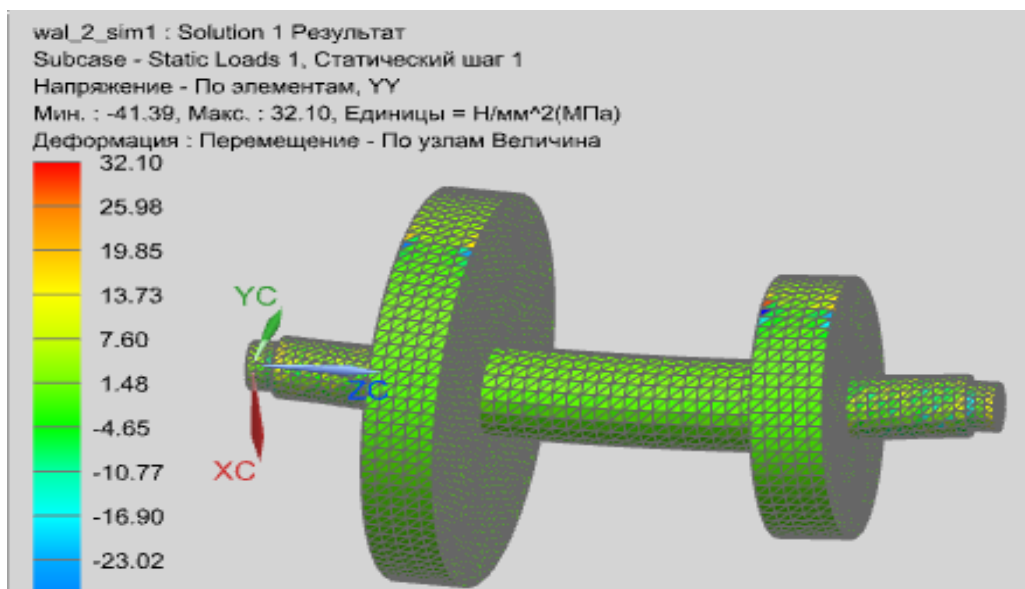


Рис. 4.20. Графическое окно, отображающее результат вычисления напряжений при нагружении вала радиальными и касательными силами

Выполняют команду **Начало** → **Расширенная симуляция**. В **Навигаторе симуляции** на строке *.prt вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить КЭ модель** → *fem1 fem*. Закрывают диалоговое окно **Информация**.

Обновляют сетку КЭ при помощи команды **Обновить конечно-элементную модель**.

В **Навигаторе симуляции** на строке * *fem1. fem* вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить симуляцию** → **sim 1 sim*.

Вновь запускают процесс решения модели.

4.3. Моделирование формы и оценка прочности вилки

4.3.1. Постановка задачи

Ниже в качестве примера приведены действия, выполняемые при моделировании формы и оценке прочности вилки (рис. 4.21). Цилиндрическая шейка вилки установлена во втулке и является двойной направляющей конструкторской базой, лишаящей вилку четырех степеней свободы. Торцовая поверхность вилки контактирует с торцовой поверхностью втулки и является опорной конструкторской базой, лишаящей вилку одной степени свободы. На поверхность каждого отверстия в ушках вилки действует в вертикальном направлении (в направлении оси Z) сила, равная 2000 Н. Материал вилки – конструкционная сталь 30. Этот материал отсутствует в списке материалов встроенной библиотеки NX.

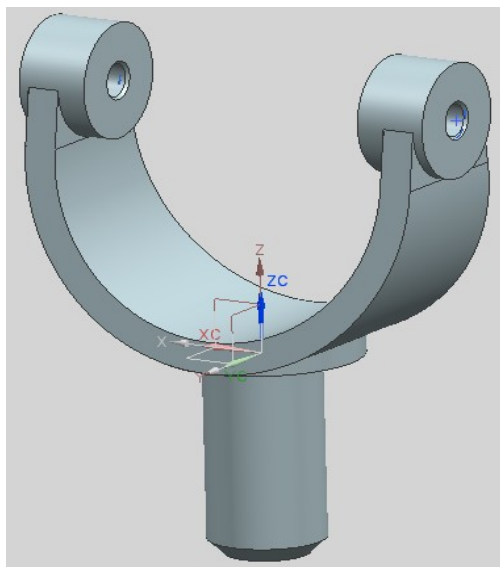


Рис. 4.21. CAD-модель вилки

4.3.2. Создание CAD-модели вилки и новых файлов модели

1. Запускают NX и создают модель вилки.

2. Переходят в модуль **«Расширенная симуляция»** (Начало → **Расширенная симуляция**).

Производят настройку диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню **Настройки → Интерфейс пользователя**. На вкладке **Общий** устанавливают опцию **Сброс настроек диалогового окна**, нажимают **ОК**.

3. Для создания конечно-элементной и расчетной моделей выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**. По другому варианту выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции**, затем выбирают опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция**. Появится диалоговое окно создания FEM файла, в качестве **Решателя** выбирают **NX Nastran**, тип анализа – **Структурный**, нажимают **ОК**. Если идеализацию геометрии детали выполнять не предполагается, то в окне **Новая конечно-элементная модель и симуляция** опция **Создать идеализированную деталь** должна быть выключена. Появится новое диалоговое окно создания SIM файла, в окне **Решение** выбирают **Тип решения – «SOL 101 – Линейный статический анализ»**, нажимают **ОК**.

Если предполагается выполнять идеализацию модели, то выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши файл «*_fem1_i» в окне **Вид файла симуляции** и переходят к идеализированной модели. При этом появляется окно с предупреждением о том, что если необходимо выполнить какие-либо операции с геометрической моделью вилки, то следует сделать ассоциативную копию геометрической модели, **ОК**. Выполняют команду **Перенос** (панель инструментов **«Расширенная симуляция»**) для создания ассоциативной копии, затем выбирают объект (в данном случае модель кольца). В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «*_fem1».

4.3.3. Создание конечно-элементной модели

1. Сложная геометрическая форма вилки обуславливает использование тетраэдральной сетки.

Выполняют команду **3D-тетраэдральная сетка** (панель инструментов **Конечно-элементная модель**), указывают:

– **Выберите тела** – выбирают созданную модель вилки двойным щелчком мыши.

– **Тип** – выбирают тип элементов, например **СТЕТРА(4)**.

– **Размер элемента** – 4 ... 6 мм, либо нажимают кнопку – **Автоматический размер элемента**.

– Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание (Коллектор назначения)**, нажимают **ОК**.

2. Задают материал вала – сталь 45. Этот материал отсутствует в библиотеке, поэтому его добавляют в локальную библиотеку и назначают этот материал для вала.

3. Для сохранения модели (при необходимости) нажимают правой клавишей мыши на «*_fem1» в окне **Вид файла симуляции** и выбирают **Сохранить**.

4. Задают материал вилки – сталь 30. Поскольку этот материал отсутствует в библиотеке материалов, необходимо добавить новый материал с заданными свойствами в локальную библиотеку.

Сталь 30 имеет следующие характеристики при температуре 20 °С [10]: плотность – 7850 кг/м³; модуль Юнга – 200 000 МПа; коэффициент Пуассона – 0,26; предел текучести – 295 МПа; предел прочности на растяжение – 460 МПа.

Чтобы добавить новый материал в библиотеку материалов, в выпадающем списке **Список материалов** выбирают опцию **Управление материалами**. В появившемся окне **Управление**

материалами в разделе **Список материалов** устанавливают опцию **Библиотека материалов** (см. рис. 3.18). Чтобы воспользоваться данными материала *Steel* в качестве шаблона, выделяют строку *Steel* и нажимают кнопку – **Копировать выбранный материал**.

В диалоговом окне **Изотропный материал** (см. рис. 3.19) в разделе **Имя-описания** вводят *Steel_30* и характеристики этой стали, при этом метод задания параметров переключают в значение **Выражение**. Нажимают **ОК**.

После этих действий в появившемся окне **Управление материалами** опция **Список материала** переключается в состояние **Локальные материалы**. Нажимают на кнопку **Заккрыть**.

Задают материал вилки– сталь 30. Из выпадающего списка **Список материалов** выбирают пункт **Назначить материал**. В появившемся диалоговом окне **Назначить материал** в разделе **Тип** устанавливают опцию **Выбрать тела** и выбирают модель детали двойным щелчком мыши. В разделе **Список материалов** выбирают опцию **Локальные материалы**. При этом строка *Steel_30* выделяется. Нажимают клавишу **ОК**. Материал детали выбран.

Если после этого из выпадающего списка **Список материалов** выбрать пункт **Управление библиотекой материалов** и в появившемся диалоговом окне **Список материалов** (см. рис. 3.22) выбрать пункт **Локальные материалы**, то материал *Steel_30* в колонке **Используемый** будет иметь значок зеленого цвета. Это означает, что данный материал использован в модели.

5. Для сохранения модели (при необходимости) нажимают правой клавишей мыши на «*_fem1» в окне **Вид файла симуляции** и выбирают **Сохранить**.

4.3.4. Задание нагрузок и граничных условий

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*...sim1» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

2. Для задания ограничения на степени свободы выполняют команду **Ограничение, задаваемое пользователем** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «Расширенная симуляция»).

Появляется диалоговое окно с опцией **Выбрать объект**. Для выбора объекта сначала указывают на цилиндрическую шейку, нажимают **ОК**. Поскольку шейка является двойной направляющей базой, лишаящей вилку четырех степеней свободы, в том числе перемещений в направлениях осей X_C и Y_C , то параметры DOF (degree of freedom) принимают следующие значения:

- DOF 1 – отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси X ;
- DOF 2 – отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси Y ;
- DOF 3 – наличие (**Свободный**) перемещения вдоль оси Z ;
- DOF 4 – наличие (**Свободный**) вращения относительно оси X ;
- DOF 5 – наличие (**Свободный**) вращения относительно оси Y ;
- DOF 6 – наличие (**Свободный**) вращения относительно оси Z .

Повторяют команду, выбирая в качестве объекта торцовую поверхность, примыкающую к цилиндрической шейке. Эта торцовая поверхность, являющаяся опорной базой, лишает вилку одной степени свободы – перемещения вдоль оси Z_C , поэтому лишь один параметр DOF примет значение **Фиксировано** – DOF 3 – отсутствие (**Фиксировано**) перемещения вдоль оси Z_C ; остальные параметры примут значение **Свободный**.

3. При задании нагрузки в подобных случаях моделируют давление смятия, возникающее при приложении силы. Давление смятия (Bearing) – задание давления на цилиндрическую грань или круговое

ребро с указанным углом раствора по выбранному закону распределения: синусоидальному или параболическому.

Из выпадающего меню **Тип нагрузки** (панель инструментов «Расширенная симуляция») выбирают команду **Давление смятия**. В диалоговом окне (рис. 4.22) выбирают пункты:

– **Выбрать объект** – выбирают поверхность отверстия.

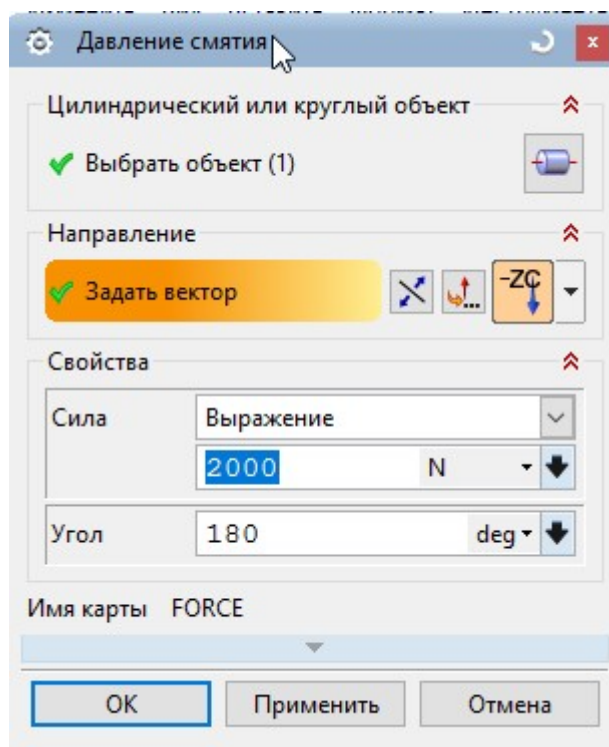


Рис. 4.22. Окно «Давление смятия»

– **Задать вектор** – задают вектор -ZC.

– **Сила** – в соответствующее поле вводят значение силы, равное 2000 Н.

– Нажимают **ОК**.

Повторяют вышеприведенные действия, выбрав второе отверстие.

В результате создается расчетная модель вилки (рис. 4.23).

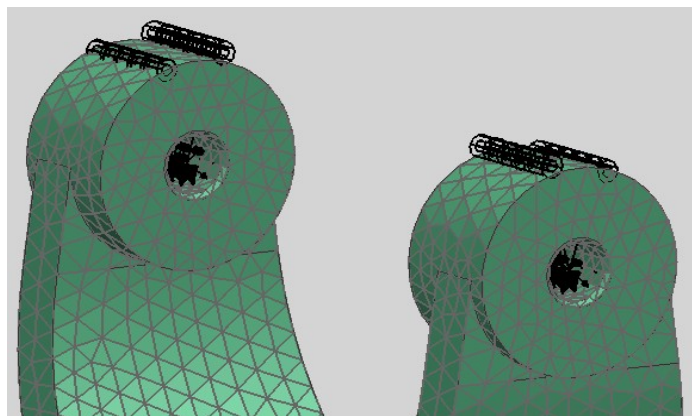


Рис. 4.23. Модель вилки с приложенным давлением

4.3.5. Выполнение статического анализа

1. Выполняют проверку качества конечно-элементной и расчетной моделей. Для этого выполняют команду **Анализ → Проверка конечно-элементной модели → Настройка модели**, или выбирают кнопку **Настройка модели** на панели **Расширенная симуляция**.

Выполняется проверка задания нагрузок и ограничений, соответствия созданной КЭ-модели геометрической модели и проверка задания материала. Результаты проверки отображаются в окне **Информация**.

2. Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ → Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в появившемся диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** в появившемся диалоговом окне.

3. После завершения работы решателя NX **Nastran** закрывают все появившиеся окна.

4.3.6. Просмотр результатов статического анализа

1. В дереве модели окна **Навигатор симуляции** выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши вкладку **Результаты**, за счет чего переходят на вкладку **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами. Для просмотра результатов раскрывают вкладку **Solution 1**, выбирают нужные параметры, в данном случае **Перемещение - По узлам** и **Напряжения - по элементам / узлам**.

В появившихся графических окнах отобразится деформированное (рис. 4.24) и напряженное (рис. 4.25) состояния вилки.

При данных условиях максимальная деформация вилки в направлении оси *X* составит 0,116 мм, максимальные напряжения (нормальные в направлении оси *Z*) – 102 МПа, что не превышает предела текучести материала вилки.

Выполняют команду **Изменить вид постпроцессора** на панели инструментов **Постпроцессор**. В появившемся окне **Вид постпроцессора** (рис. 4.26) включают опцию **Показать недеформированную деталь** (рис. 4.27).

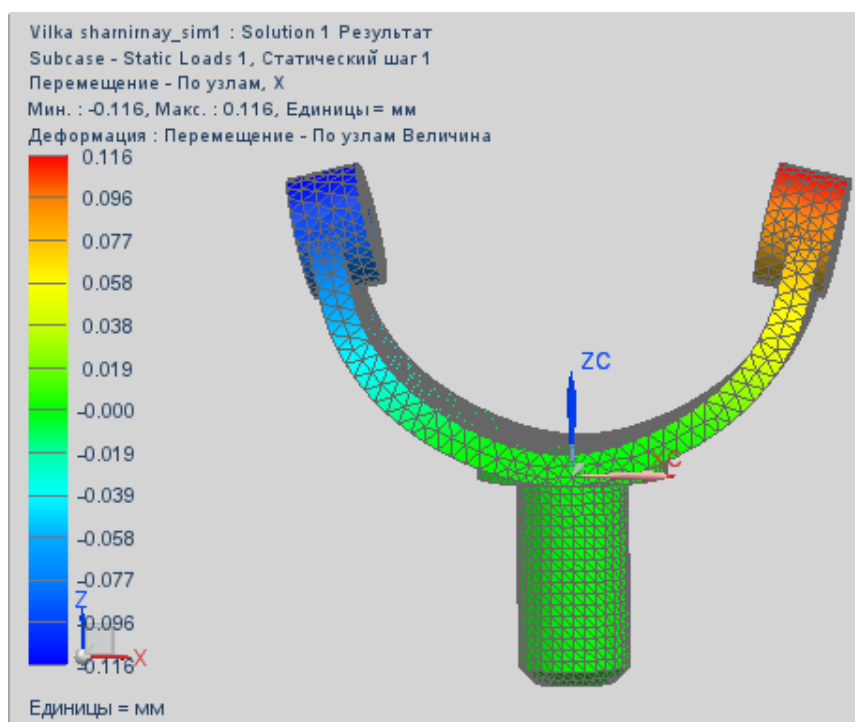


Рис. 4.24. Графическое окно, отображающее результат

вычисления перемещения

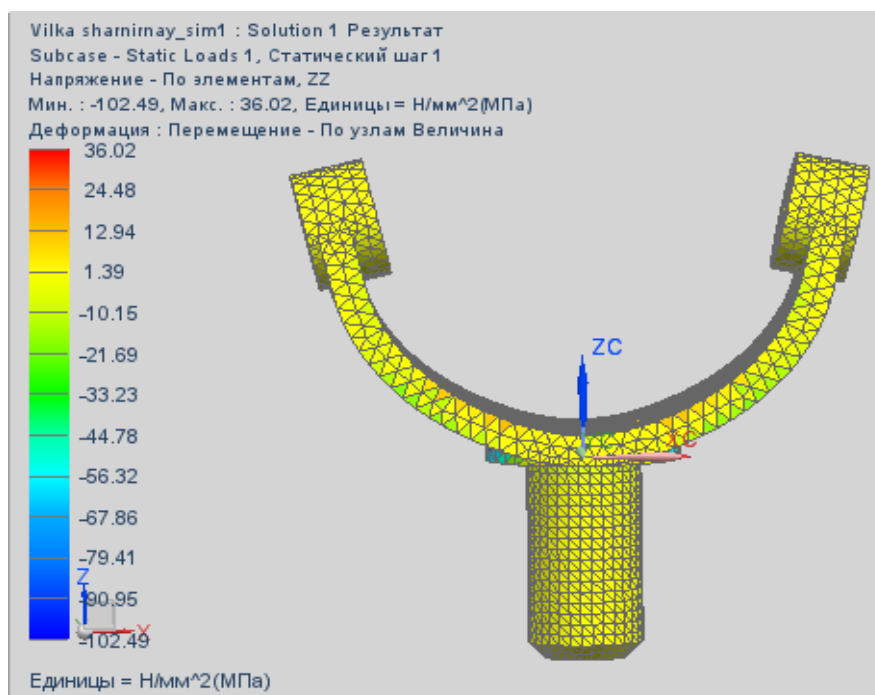


Рис. 4.25. Графическое окно, отображающее результат вычисления напряжений

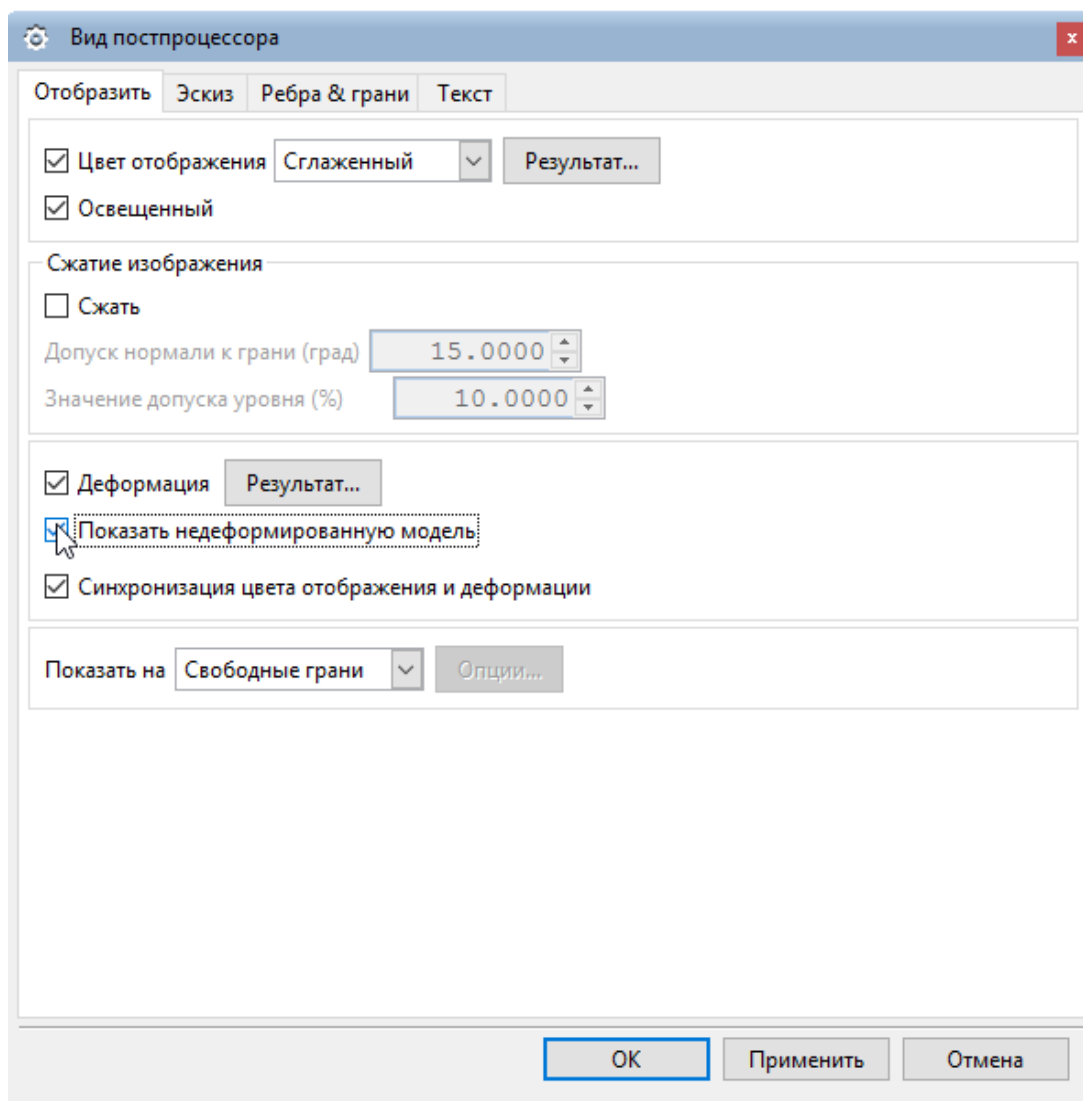


Рис. 4.26. Графическое окно «Вид постпроцессора»

2. Для представления деформации вилки в графической форме в **Навигаторе постпроцессора** раскрывают строку *Post View*, затем выбирают строку **Новый график**. В разделе **Путь** появившегося окна **График** нажимают кнопку **Создать**. Появляется диалоговое окно **Трасса**, маркером выбирают узлы на наружной цилиндрической поверхности модели вилки (рис. 4.28). Нажимают **ОК** в окнах **Трасса** и **График** и получают график деформации в узлах КЭ-модели.

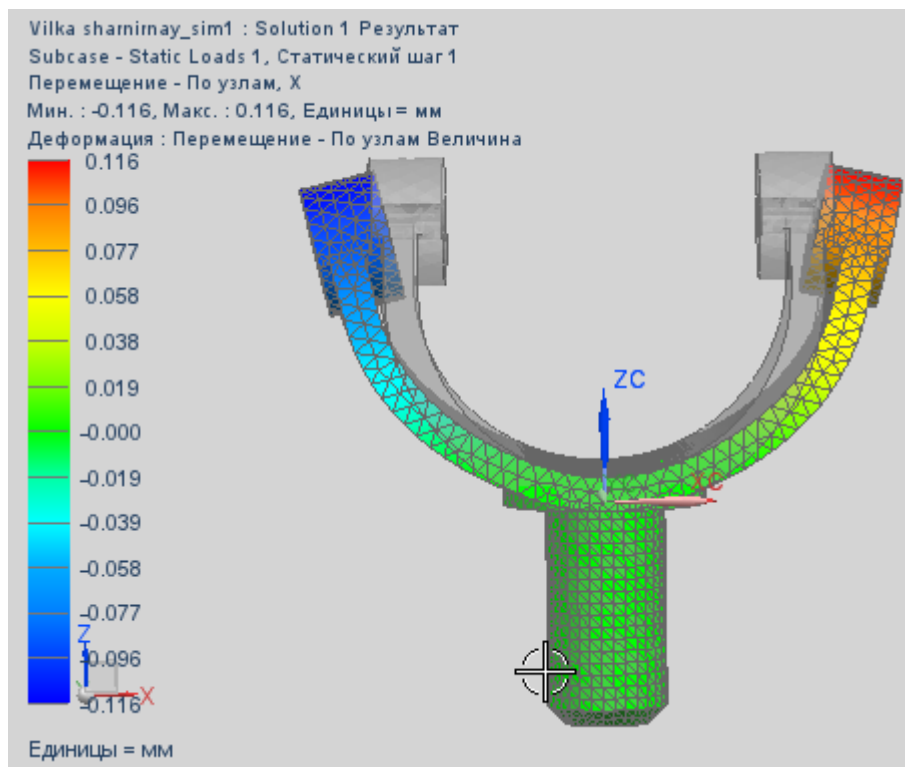


Рис. 4.27. Графическое окно, отображающее результат вычисления перемещения и недеформированную деталь

3. Чтобы выявить деформацию при других условиях, выполняют команду **Возврат в симуляцию**. Если необходимо изменить величину силы, выбирают мышью графическое изображение давление на расчетной модели, либо в **Навигаторе симуляции** раскрывают строку **Контейнер нагрузки**, выбирают пункт **Force** и выполняют пункт меню **Изменить**. Вводят новое значение силы и повторяют расчеты.

4. Если необходимо изменить конструктивные параметры вилки, то после выполнения команды **Возврат в симуляцию** раскрывают строку «*_fem1». Вызывают контекстное меню на строке «*_prt» и выполняют команду **Сделать отображаемой деталью**. Выполняют команду **Начало** → **Моделирование** и изменяют конструктивные параметры вилки.

Выполняют команду **Начало** → **Расширенная симуляция**.

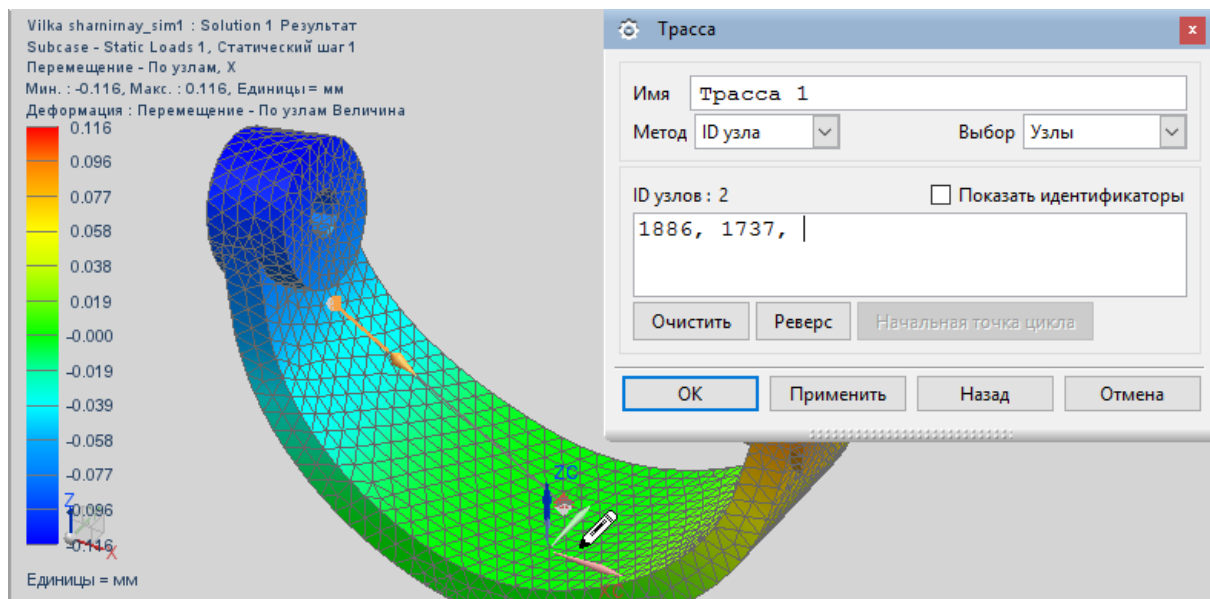


Рис. 4.28. Выбор трассы для построения графика деформации кольца

В Навигаторе симуляции на строке **.prt* вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить КЭ модель** → *fem1*. Закрывают диалоговое окно **Информация**.

Обновляют сетку конечных элементов при помощи команды **Обновить конечно-элементную модель**.

В Навигаторе симуляции на строке *fem1* вызывают контекстное меню и выполняют команду **Отобразить симуляцию** → **sim 1*.

Вновь запускают процесс решения модели.

5. Чтобы отобразить представленные в графической форме результаты на текущей плоскости, на вкладке **Отобразить** диалогового окна **Вид постпроцессора** в разделе **Показать на** следует выбрать опцию **Текущая плоскость** и нажать на кнопку **Опции**, чтобы выбрать ее направление и координаты (рис. 4.29). Результаты представлены на рис. 4.30.

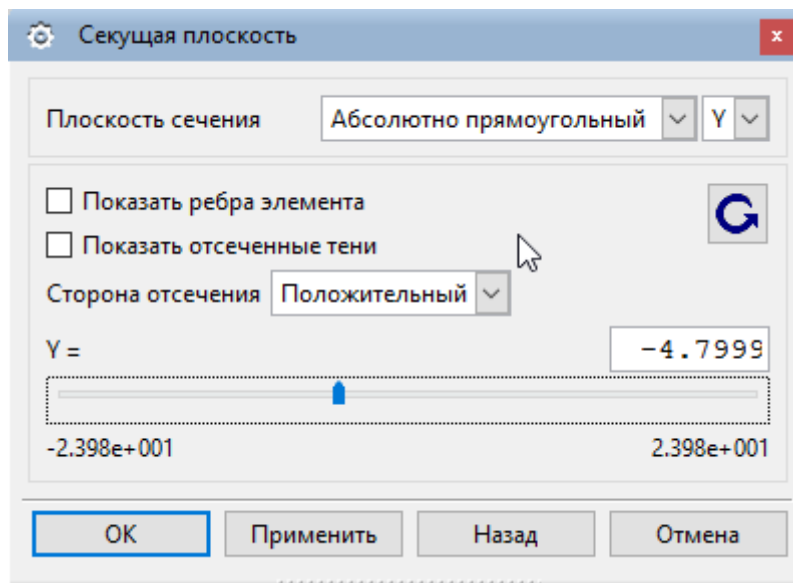


Рис. 4.29. Диалоговое окно «Секущая плоскость»

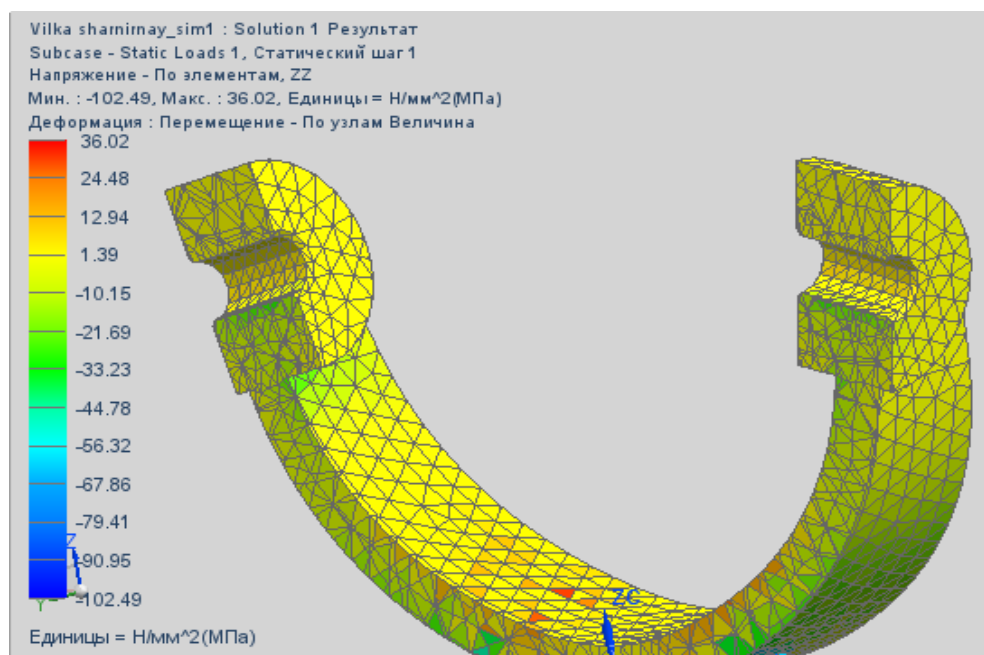


Рис. 4.30. Графическое окно, отображающее результат вычисления напряжений

4.4. Анализ устойчивости пластины

4.4.1. Постановка задачи

Необходимо выполнить линейный анализ устойчивости тонкостенной детали (пластины), находящейся под действием сжимающего усилия. Пластина (рис. 4.31) имеет два отверстия диаметром 6 мм; расстояние между их осями – 150 мм. Размер пластины в направлении линии, соединяющей оси отверстий – 25 мм, толщина – 4 мм. Пластина закреплена по одному из отверстий; к ребру второго отверстия приложена сила, сжимающая пластину. Материал пластины – *Steel*, присутствует в библиотеке материалов.

Потеря устойчивости характерна для элементов конструкций, один либо два размера которых значительно меньше третьего, например стержни, балки, пластины. В данном случае толщина пластины значительно меньше ее длины.

Устойчивость является одним из основных критериев работоспособности конструкции [11]. Под устойчивостью понимают способность конструкции сохранять исходную форму равновесия после снятия внешних воздействий. В случае, если конструкция приходит в состояние, отличное от первоначального, имеет место потеря устойчивости. Нагрузки, при которых происходит потеря устойчивости конструкции, называются критическими, а состояния, предшествующие потере устойчивости, – критическими состояниями. Поведение конструкции после потери устойчивости называется закритическим поведением.

При проектировании новой конструкции необходимо проводить анализ как на устойчивость для определения критических нагрузок, превышение которых ведет к потере работоспособности конструкции, так и на ее способность сохранять состояние равновесия.

4.4.2. Создание CAD-модели пластины и новых файлов модели

1. Запускают NX и создают модель пластины (см. рис. 4.31).

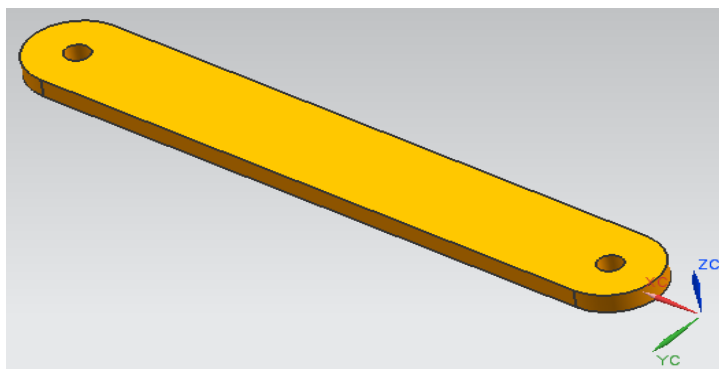


Рис. 4.31. CAD-модель пластины

2. Переходят в модуль **NX Расширенная симуляция** (**Начало** → **Расширенная симуляция**).

Производят настройки диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню: **Настройки** → **Интерфейс пользователя** → **Общий** → **Сброс настроек диалогового окна**, нажимают **ОК**.

3. Для создания конечно-элементной и расчетной моделей выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**, либо выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции** и выбирают опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция** для создания КЭ и расчетной моделей. Появляется диалоговое окно создания файла КЭ модели, устанавливают флажок **Создать идеализированную деталь**, в качестве **Решателя** выбирают **NX Nastran**, тип анализа – **Структурный**, нажимают **ОК**. Появляется новое диалоговое окно создания SIM файла расчетной модели, в диалоговом окне **Решение** (рис. 4.32) выбирают **Тип решения SOL 105 Linear Buckling**. Нажимают **ОК**.

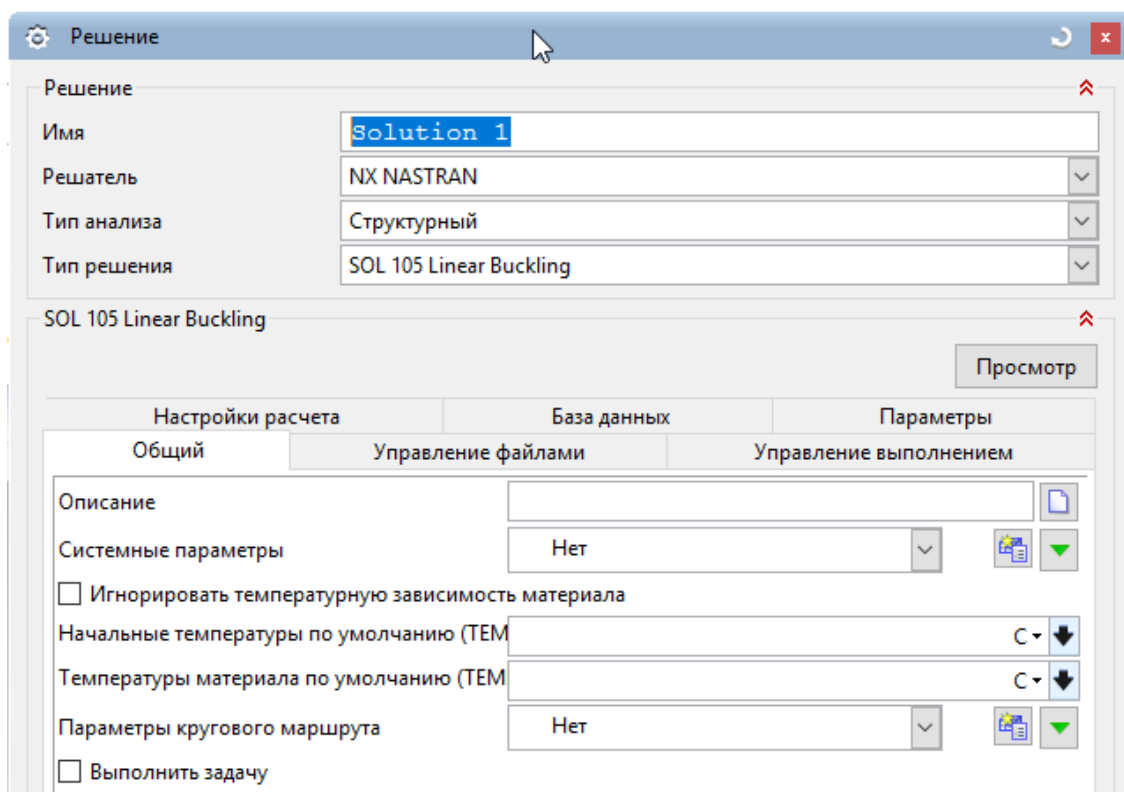


Рис. 4.32. Диалоговое окно «Решение»

4.4.3. Создание конечно-элементной модели

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши на файл *_fem1_i в окне **Вид файла симуляции** переходим к идеализированной модели. При этом появляется окно предупреждения о том, что если необходимо выполнять какие-либо операции с геометрией, то следует создать ассоциативную копию исходной геометрической модели. Нажимаем **ОК**. Выполняют команду **Перенос**, которая находится на панели инструментов **Расширенная симуляция**, либо последовательно выполняют команды **Вставить** → **Ассоциативная копия** → **Перенос**, с целью создания ассоциативной копии.

2. Создают срединную поверхность тонкостенного тела, вызвав команду **Срединная поверхность по парам граней**, которая находится на панели инструментов **Срединная поверхность**, либо выполняют действия: **Вставить** → **Подготовка модели** → **Срединная**

поверхность → Пары граней. В появившемся диалоговом окне выполняют следующие действия (рис. 4.33): выбирают деталь; выполняют команду **Автоматически создать пары граней**; устанавливают флажок **Скрыть твердые тела при применении**; нажимают **ОК**.

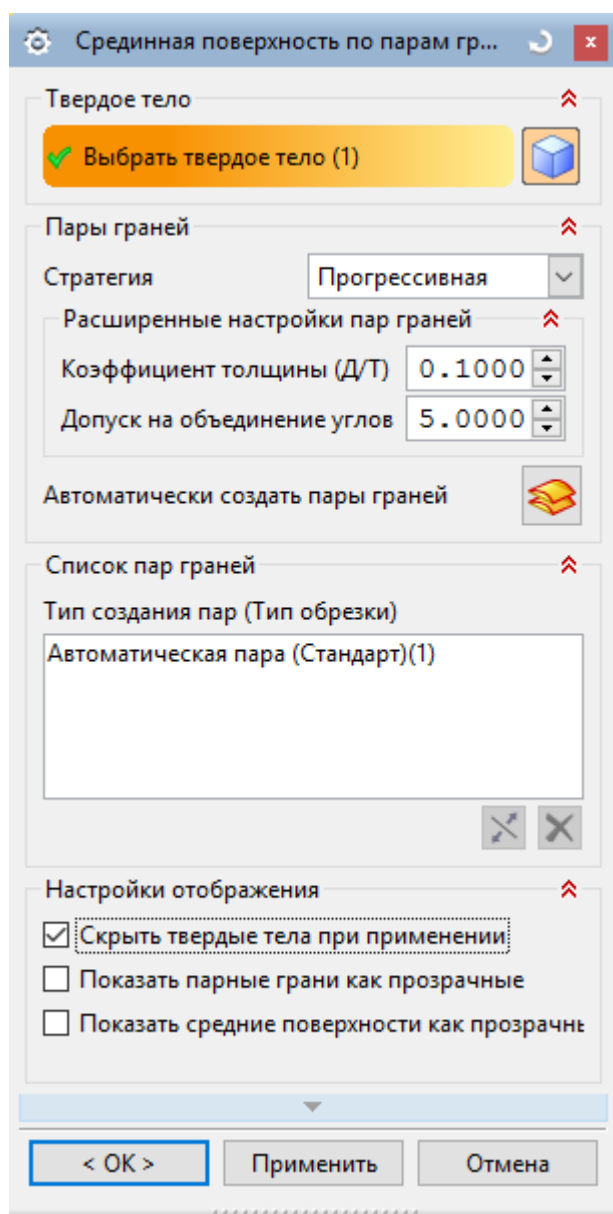


Рис. 4.33. Диалоговое окно «Срединная поверхность по парам граней»

3. Двойным нажатием левой клавиши мыши на файл *_fem1 в окне **Вид файла симуляции** переходят к КЭ модели. В дереве модели

раскрывают узел **Полигональная геометрия** и деактивируют 3D тело Polygon Body (1).

4. На панели инструментов **Конечно-элементная модель** вызывают команду **Физические свойства**, или выполняют **Вставить → Физические свойства**. В появившемся диалоговом окне **Управление таблицей физических свойств** (рис. 4.34) указывают **Тип** – PSHELL; **Имя** – PSHELL1 и нажимают кнопку **Создать**.

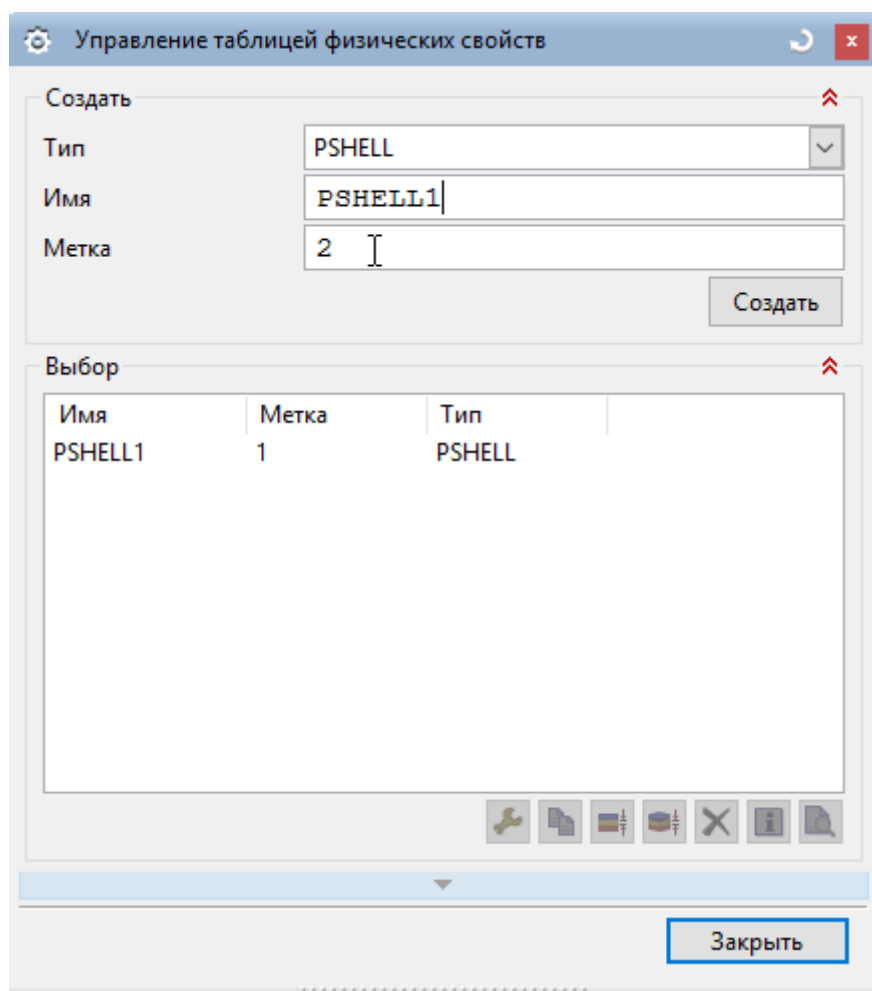


Рис. 4.34. Диалоговое окно «Управление таблицей физических свойств»

В новом диалоговом окне выбирают опцию **Выберите материал**. В появившемся диалоговом окне (рис. 4.35) выбирают материал Steel, нажимают **ОК**; для **Толщина** по умолчанию устанавливают 4 мм; нажимают **ОК**.

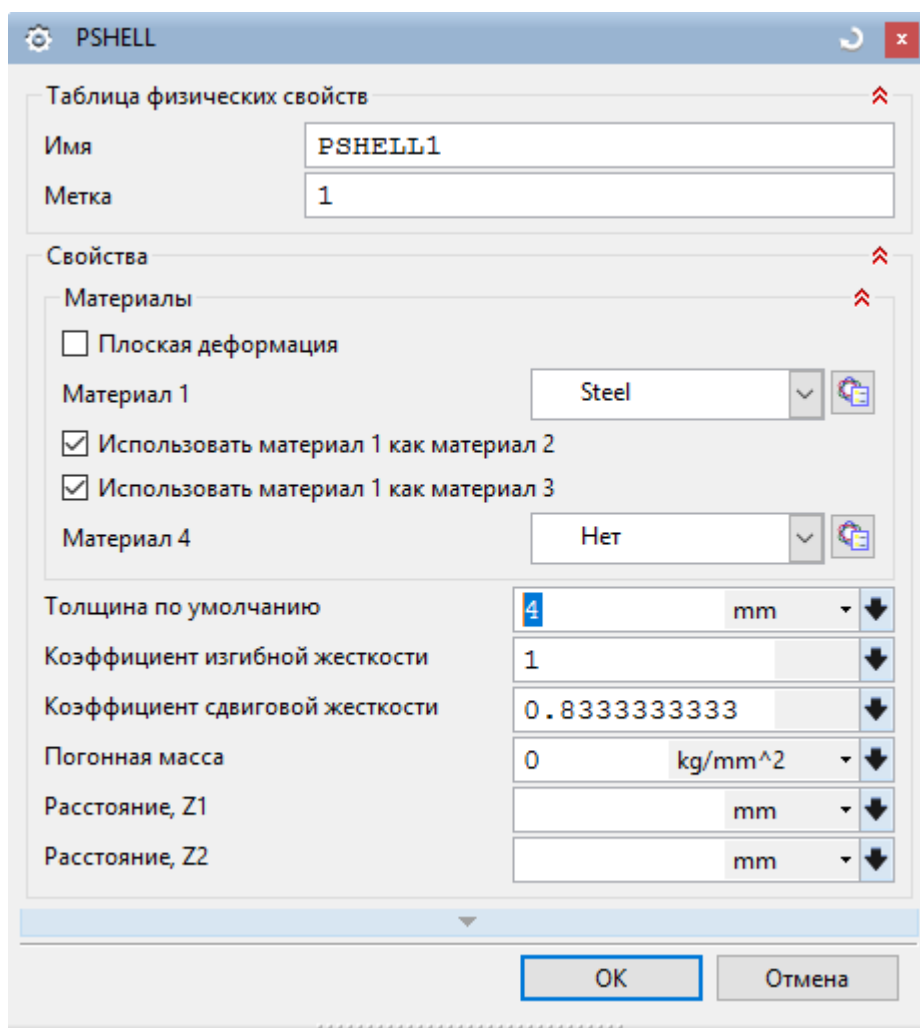


Рис. 4.35. Диалоговое окно «Таблица физических свойств»

5. Следующим шагом является создание коллектора сетки. Вызывают команду **Коллектор сеток** панели инструментов **Расширенная симуляция**, или выполняют **Вставить** → **Коллектор сеток** и указывают (рис. 4.36): **Семейство элемента** – 2D; **Тип коллектора** – ThinShell; **Тип** – PSHELL; **Свойства оболочки** – PSHELL1.

6. Для генерации КЭ сетки выполняют команду **2D сетка** панели инструментов **Конечно-элементная модель** и указывают (рис. 4.37): **Выберите объекты** – выбирают срединную поверхность детали; **Тип** – CQUAD(4); **Метод генерации сетки** – Центрированный; **Размер элемента** – 3 мм; **Автоматическое создание** – снимают флажок и в качестве коллектора сетки выбирают *Pshell1*.

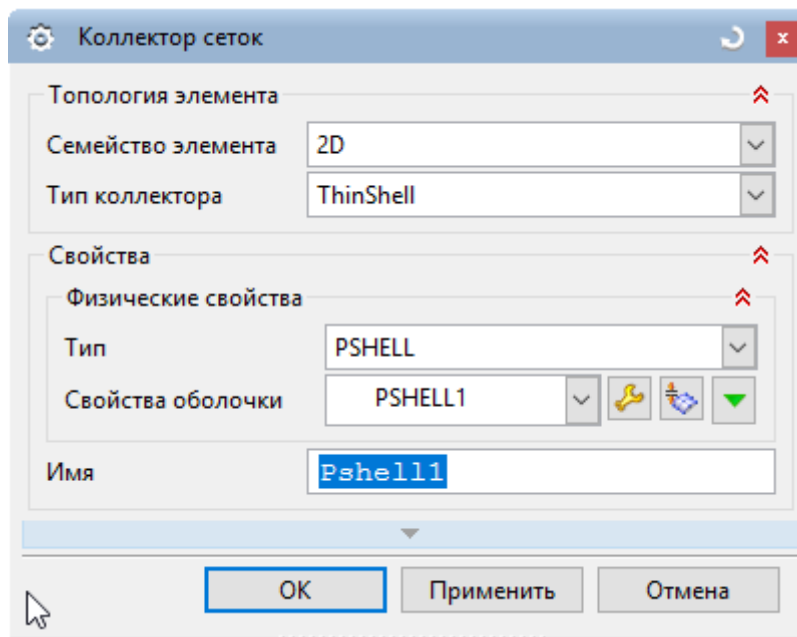


Рис. 4.36. Диалоговое окно «Коллектор сеток»

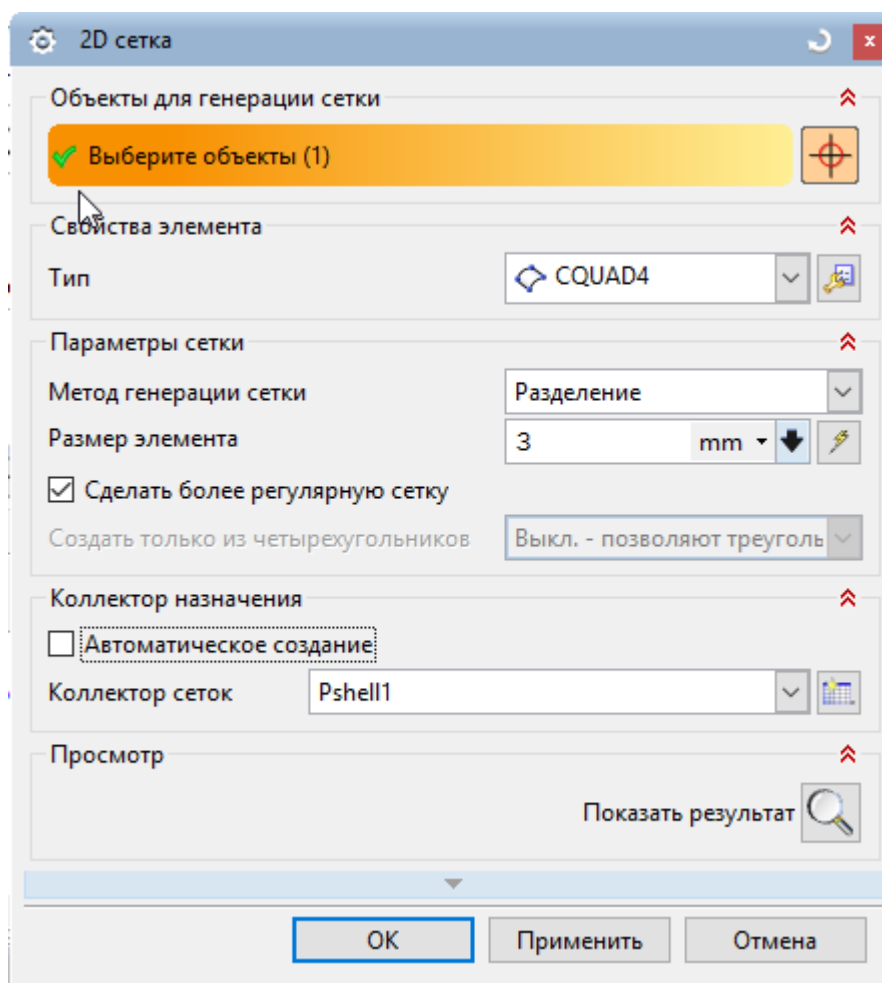


Рис. 4.37. Диалоговое окно «2D сетка»

4.4.4. Задание нагрузок и граничных условий

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши на файл симуляции «*sim1» в окне **Вид файла симуляции** открывают расчетную модель.

2. Для создания ограничений на степени свободы конструкции в дереве модели во вкладке **Навигатор симуляции** нажатием правой клавиши мыши на **Контейнер ограничения** из выпадающего списка контекстного меню выбирают команду **Заделка**, что соответствует ограничению всех степеней свободы. В появившемся диалоговом окне указывают: **Выбрать объект** – выбирают ребро одного из отверстий. Нажимают **ОК**.

3. В дереве модели во вкладке **Навигатор симуляции** нажатием правой клавиши мыши на **Контейнер нагрузки** открывают контекстное меню, наводят курсор мыши на **Новая нагрузка**, из выпадающего списка контекстного меню выбирают команду **Сила**. В появившемся диалоговом окне указывают: **Тип** – Значение и направление; **Выбрать объект** – выбирают ребро незакрепленного отверстия; **Сила** – 1 Н; **Задать вектор** – задают отрицательное направление оси OX. Нажимают **ОК**.

В результате создается расчетная модель пластины (рис. 4.38).

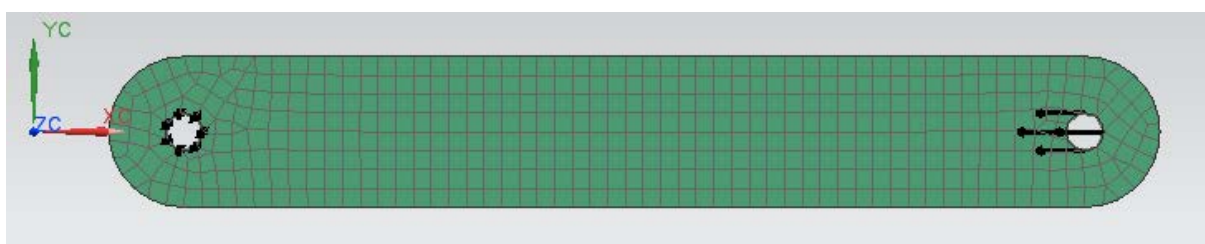


Рис. 4.38. Расчетная модель пластины

4. Для задания параметров решения задачи линейной устойчивости во вкладке **Навигатор симуляции** нажатием правой клавиши мыши на шаг решения Subcase – Buckling Method выбирают из контекстного меню **Изменить**. В появившемся диалоговом окне **Шаг**

решения указывают (рис. 4.39): **Метод собственных значений** – Ланцош (Lanczos); **Данные Ланцоша**: вызовите команду **Создание объекта моделирования**. В новом диалоговом окне *Real Eigenvalue – Lanczos* (рис. 4.40) введите для **Число желательных мод** число 10. Остальные параметры оставьте без изменения. Нажмите **ОК**.

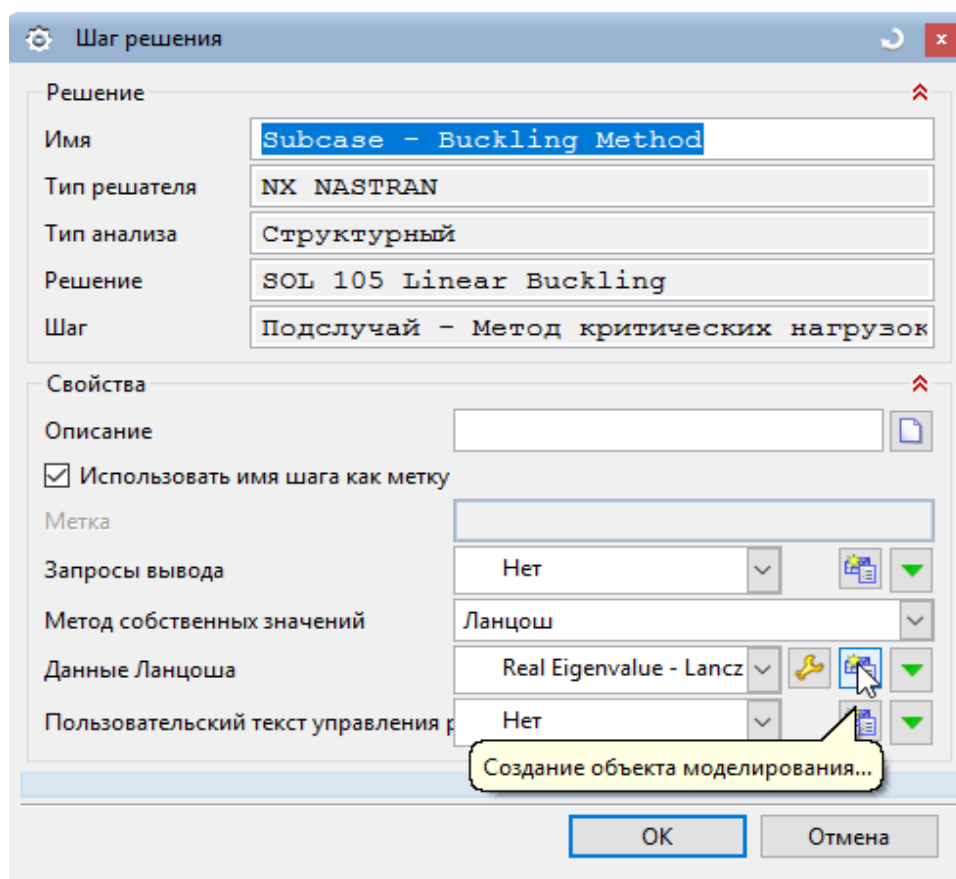


Рис. 4.39. Диалоговое окно «Шаг решения»

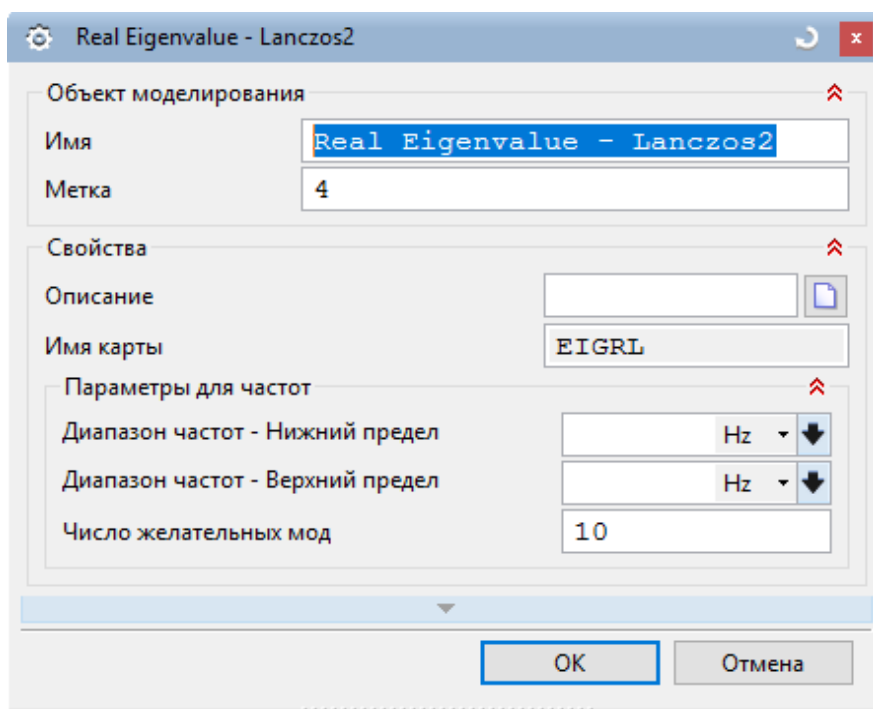


Рис. 4.40. Диалоговое окно «Real Eigenvalue – Lanczos»

4.4.5. Запуск решения

Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ** → **Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в появившемся диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** в появившемся диалоговом окне.

После завершения работы решателя закрывают все появившиеся окна.

4.4.6. Просмотр результатов

В дереве модели вкладки **Навигатор симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши на узел *Results* перейдите в **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами.

Результаты разделяются на два шага:

Subcase – Buckling Loads – содержит результаты статического расчета;

Subcase – Buckling Method – содержит результаты расчета на устойчивость, а именно собственные значения и соответствующие формы потери устойчивости.

Для просмотра результатов раскрывают узел *Subcase – Buckling Method*, раскройте **Режим 1 (Mode 1)**, дважды левой клавишей мыши нажимают на **Перемещение – По узлам**. В графической области отобразится деформированное состояние, соответствующее первой форме потери устойчивости при собственном значении 3.027Е3 Гц (рис. 4.41).

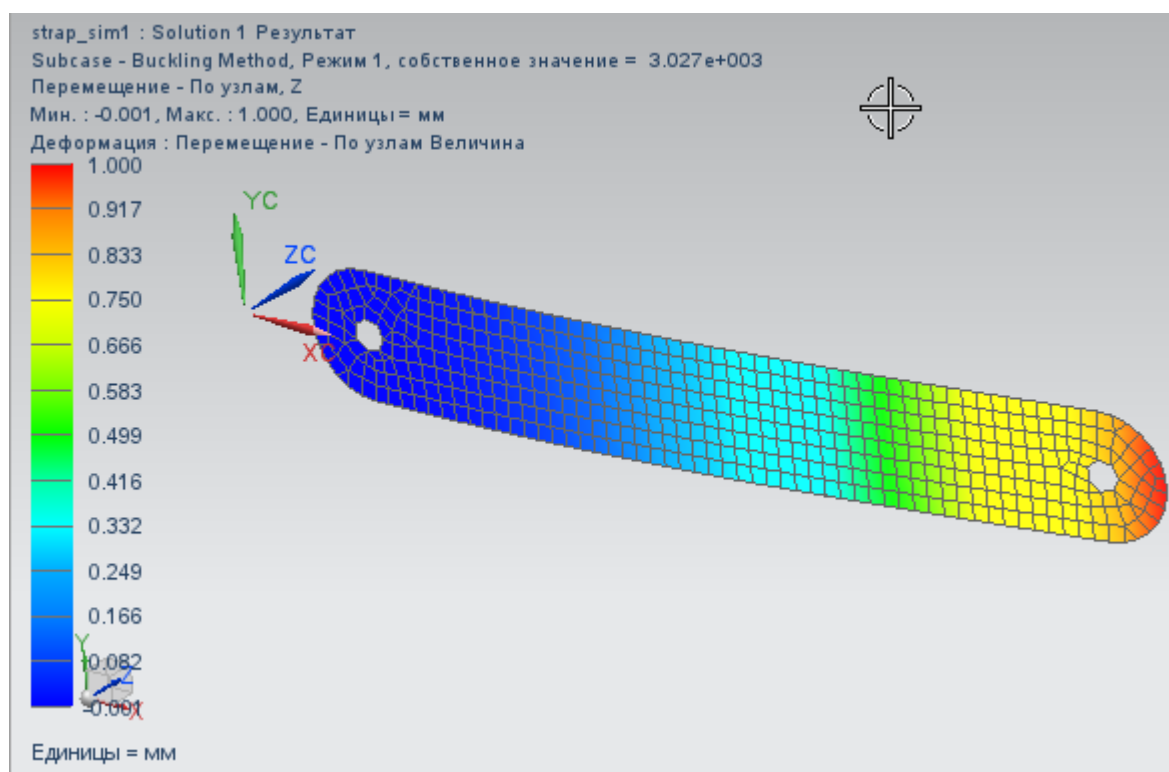


Рис. 4.41. Графическое окно, отображающее результат расчета устойчивости пластины

Значение критической нагрузки определяется умножением значения приложенной нагрузки на найденное собственное значение [2]. В данном примере величина приложенной нагрузки составляет 1 Н, и, следовательно, значение критической нагрузки для первой формы потери устойчивости равно 3027 Н.

4.5. Моделирование температурного поля цилиндрического стержня

4.5.1. Постановка задачи

На одном из торцев стержня действует источник теплоты (задается плотность теплового потока). Поскольку противоположная сторона стержня заделана в массивный корпус, полагают, что на этом торце температура равна температуре окружающей среды. Теплоотдачей с боковых поверхностей стержня либо пренебрегают, т. е. считают эту поверхность адиабатической, либо учитывают теплообмен с окружающей средой.

Ниже в качестве примера приведены действия, выполняемые при моделировании стационарного температурного поля в стержне длиной $L = 15$ мм и диаметром $d = 0,8$ мм; плотность теплового потока, направленного в стержень, $q_u = 1 \cdot 10^6$ Вт/м²; температура окружающей среды равна 293 К (20 °С). Материал стержня – сталь 65Г. Решается как стационарная, так и нестационарная задача.

4.5.2. Создание CAD-модели стержня и новых файлов модели

1. Запускают NX и создают модель цилиндра диаметром 0,8 мм и длиной 15 мм.

2. Переходят в модуль **NX Расширенная симуляция (Начало → Расширенная симуляция)**.

Производят настройки диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню: **Настройки → Интерфейс пользователя → Общий → Сброс настроек диалогового окна**, нажимают **ОК**.

3. Для создания конечно-элементной и расчетной моделей выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на

панели **Расширенная симуляция**, либо выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции** и выбирают опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция**.

Появится диалоговое окно создания FEM файла, в качестве **Решателя** выбирают **NX THERMAL / FLOW**, тип анализа – **Тепловой**, и нажимают **ОК**. Появится новое диалоговое окно создания SIM файла, в окне **Решение** выбирают **Тип решения «Тепловой»**, в окне **Описание** выбирают **Тип решения – «Установившийся режим»**.

Поскольку не предполагается выполнять идеализацию геометрии детали, то в окне **Новая конечно-элементная модель и симуляция** опция **Создать идеализированную деталь** может быть выключена, **ОК**.

В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «*_fem1».

4.5.3. Создание конечно-элементной модели

1. Выполняют команду **3D тетраэдральная сетка** (панель инструментов **Конечно-элементная модель**), указывают:

- **Выберите тела** – выбирают созданную модель двойным щелчком мыши.

- **Тип** – выбирают тип элементов, например **СТЕТРА(4)**.

- **Размер элемента** – 0,2 ... 0,4 мм (этот размер не должен превышать минимальный размер тела, в данном случае его диаметральный размер), либо нажимают кнопку – **Автоматический размер элемента**.

- Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание (Коллектор назначения)**, нажимают **ОК**.

2. Задают материал стержня – сталь 65Г. Этот материал отсутствует в библиотеке, поэтому необходимо добавить новый материал с заданными свойствами в локальную библиотеку.

Сталь 65Г имеет следующие характеристики при температуре 20 °С [10]: плотность – 7850 кг/м³; коэффициент теплопроводности – 37 Вт/(м·К); удельная теплоемкость – 490 Дж/(кг·К).

Чтобы добавить новый материал в библиотеку материалов, в выпадающем списке **Список материалов** выбирают опцию **Управление материалами**. В появившемся окне **Управление материалами** в разделе **Список материалов** устанавливают опцию **Библиотека материалов** (см. рис. 3.18). Чтобы воспользоваться данными материала *Steel* в качестве шаблона, выделяют строку *Steel* и нажимают кнопку – **Копировать выбранный материал**.

В диалоговом окне **Изотропный материал** (см. рис. 3.19) в разделе **Имя-описания** вводят наименование *Steel_65G* и характеристики этой стали (рис. 4.42), при этом для метода задания параметров устанавливают значение **Выражение**. Нажимают **ОК**.

После выполненных действий в появившемся окне **Управление материалами** опция **Список материала** переключается в **Локальные материалы**. Нажимают на кнопку **Заккрыть**.

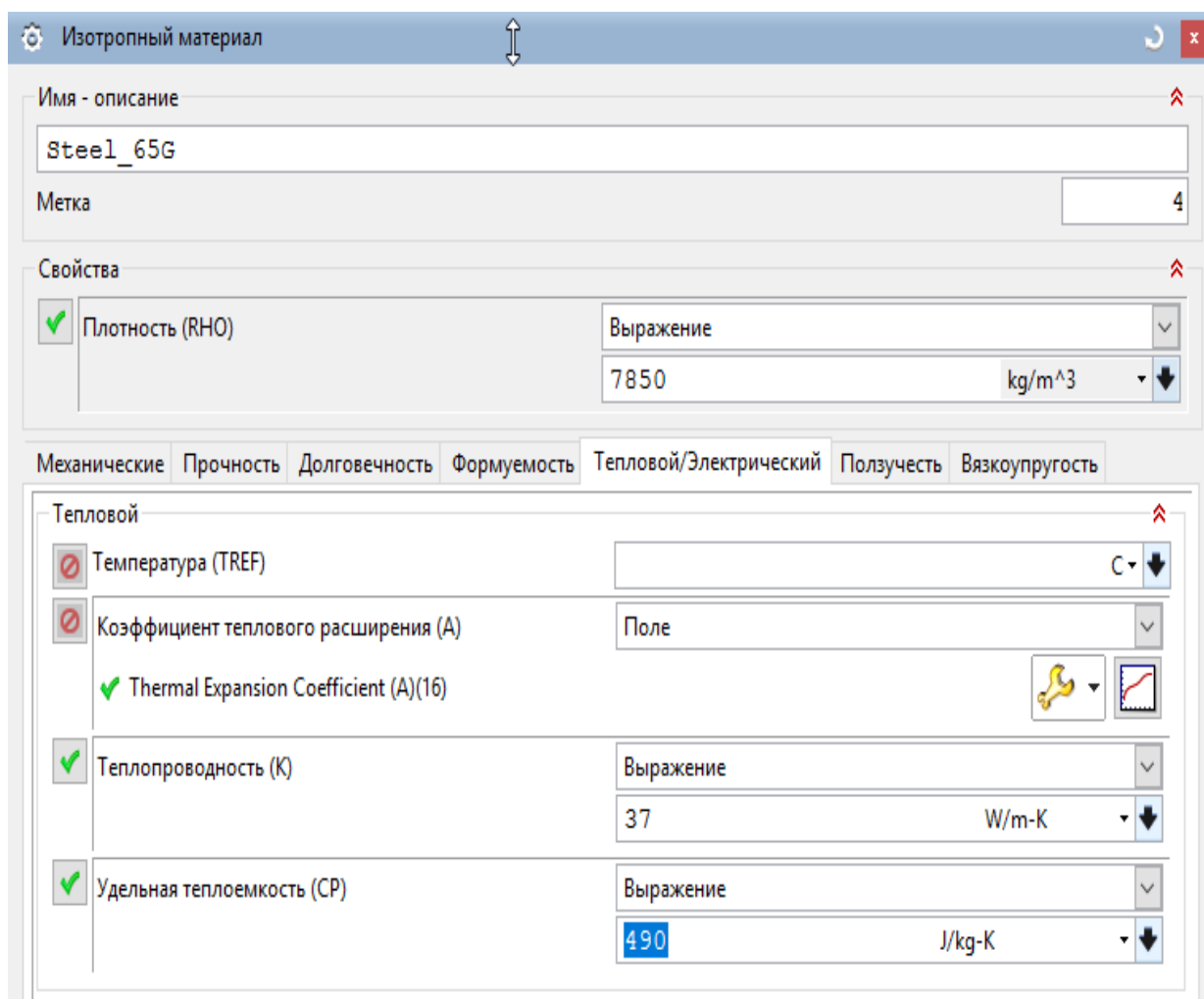


Рис. 4.42. Диалоговое окно «Изотропный материал» при задании тепловых свойств

Задают материал детали – сталь 65Г. Из выпадающего списка **Список материалов** выбирают пункт **Назначить материал**. В появившемся диалоговом окне **Назначить материал** в разделе **Тип** устанавливают опцию **Выбрать тела** и выбирают модель двойным щелчком мыши. В разделе **Список материалов** выбирают опцию **Локальные материалы**. При этом строка *Steel_65G* выделяется. Нажимают клавишу **ОК**. Материал детали выбран.

3. Для сохранения модели (при необходимости) выбирают правой клавишей мыши «*_fem1» в окне **Вид файла симуляции** и выбирают **Сохранить**.

4.5.4. Задание нагрузок и граничных условий

На данном шаге задают граничные условия и нагрузки, в качестве опций решателя **NX THERMAL / FLOW** включают итеративный решатель и выполняют расчет.

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши на файл симуляции «*sim1» в окне **Вид файла симуляции** открывают расчетную модель.

2. Для задания ограничения выполняют команду **Температура** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «**Расширенная симуляция**»).

В диалоговом окне указывают:

– **Выбрать объект** – выбирают одну из торцовых поверхностей цилиндра, параметр – **задать**, температура – **выражение** (20 °C), **ОК**.

Если необходимо задать конвективный теплообмен наружной цилиндрической поверхности иголки с внешней средой (технологической жидкостью), то выполняют команду **Конвекция в среде** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «**Расширенная симуляция**»).

В диалоговом окне указывают:

– **Выбрать объект** – наружная цилиндрическая поверхность, **коэффициент конвекции** – **задать** (например, 0,05 Вт/(мм² · °C), **ОК**.

3. Прикладывают к противоположной торцовой поверхности цилиндра тепловую нагрузку, для чего из выпадающего меню **Тип нагрузки** (панель инструментов **Расширенная симуляция**) выбирают команду **Тепловые нагрузки**. В диалоговом окне **Тепловые нагрузки** указывают:

– **Выбрать объект** – торцовая поверхность цилиндра.

– **Тепловой поток** – **выражение**; вводят значение плотности потока, равное 1·10⁶ Вт/м² (1 Вт/мм²).

– Нажимают **ОК**.

4.5.5. Расчет температурного поля

1. При необходимости корректируют опции и параметры решения задачи, для чего в дереве модели окна **Навигатор симуляции** нажимают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** и выбирают **Изменить**. В появившемся диалоговом окне **Решение** устанавливают необходимые опции и нажимают **ОК**.

2. При необходимости модель сохраняют.

3. Выполняют оценку качества конечно-элементной и расчетной моделей. Для этого выполняют команду **Анализ → Проверка конечно-элементной модели → Настройка модели**, или выбирают кнопку **Настройка модели** на панели **Расширенная симуляция**. Система выполняет оценку корректности задания нагрузок и ограничений, соответствия созданной КЭ-модели геометрической модели и проверку задания материала. Результаты проверки отображаются в окне **Информация**.

4. Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ → Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в появившемся диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** в появившемся диалоговом окне.

5. После завершения работы решателя закрывают все появившиеся окна.

4.5.6. Просмотр результатов теплового анализа

1. В дереве модели окна **Навигатор симуляции** выбирают двойным щелчком левой клавиши мыши опцию **Результаты**, за счет чего переходят на вкладку **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами. Для просмотра результатов раскрывают вкладку **Solution 1** и выбирают двойным щелчком левой клавиши мыши нужный параметр, в данном случае – **Температура – По узлам**

(По элементам). Из результатов моделирования следует, что при данных условиях максимальная температура составит 425,41 °С.

2. Чтобы получить температурное поле при других условиях, выполняют команду **Возврат в симуляцию**. Если необходимо изменить величину плотности теплового потока, выбирают мышью его графическое изображение на расчетной модели, либо в **Навигаторе симуляции** раскрывают строку **Контейнер нагрузки**, выбирают пункт **Thermal Load** и выполняют пункт меню **Изменить**. После этого вводят новое значение плотности теплового потока и повторяют расчеты. Например, если ввести значение плотности потока, равное 0,5 Вт/мм² и вновь выполнить расчеты температурного поля, то максимальная температура уменьшится и станет равной 222,7 °С (рис. 4.43).

3. Для представления результата в графической форме следует в **Навигаторе постпроцессора** раскрыть строку **Post View**, затем выбрать строку **Новый график**. В разделе **Путь** появившегося окна **График** нажимают кнопку **Создать**. Когда появляется диалоговое окно **Трасса**, маркером выбирают на модели два узла, лежащие на противоположных гранях модели (см. рис. 4.43). Нажимают **ОК** в окнах **Трасса** и **График** и получают график распределения температуры по образующей цилиндра.

4. Для получения среднего значения температуры иглоки-стержня выполняют команду **Вставить → Измерения результата**. В открывшемся диалоговом окне **Менеджер измерения результата** нажимают кнопку **Новый**, затем в окне **Измерение результата** выбирают **Среднее значение**, задают латинскими буквами **Имя выражения** и нажимают **ОК**. При плотности теплового потока 0,5 Вт/мм² среднее значение температуры иглоки равно 121,38 °С.

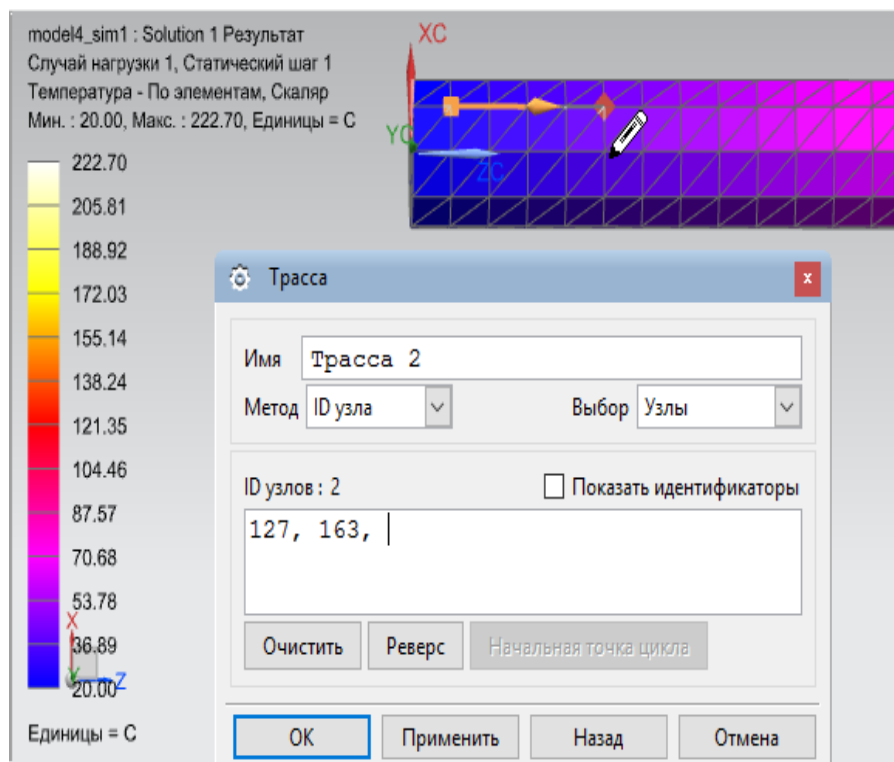


Рис. 4.43. Выбор трассы для построения графика

4.5.7. Решение нестационарной задачи

Для решения нестационарной задачи устанавливают необходимые опции и параметры решения, для чего в дереве модели окна **Навигатор симуляции** нажимают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** и выбирают **Изменить**. В появившемся диалоговом окне **Решение** устанавливают необходимые опции и нажимают **ОК**. В окне **Настройка перехода** выбирают время завершения, например 50 с, число шагов по времени – **Автоматически**.

После решения задачи в дереве модели окна **Навигатор симуляции** нажимают двойным щелчком левой клавиши мыши на **Результаты**. Раскрывают вкладку **Solution 1**, выбирают нужный параметр – **Приращение 1**, **Приращение 2** ... , отличающиеся различными моментами времени, в которые зафиксированы результаты. Далее раскрывают соответствующую вкладку, выбирают нужный параметр, в данном случае – **Температура - По узлам (По элементам)** и нажи-

мают двойным щелчком левой клавиши мыши. При значении теплового потока $0,5 \text{ Вт/мм}^2$ в моменты времени 5, 20 и 50 с максимальная температура составляет 122,5 , 200,6 и 221,6 °С.

4.6. Моделирование температурного поля пластины в процессе охлаждения

4.6.1. Постановка задачи

С помощью программного комплекса NX моделируют нестационарное температурное поле пластины. Материал пластины – *Stell* (присутствует в библиотеке материалов).

Задают размеры, начальную температуру и коэффициент теплоотдачи с боковых поверхностей пластины. Определяют температурное поле в пластине в различные моменты времени и время остывания пластины до температуры окружающей среды.

4.6.2. Создание CAD-модели и новых файлов модели

1. Используя модуль **Моделирование**, создают модель пластины. Высота и ширина пластины должны превышать ее толщину не менее, чем в 10 раз. В данном примере создают модель пластины толщиной 10 мм, шириной и высотой 100 мм.

2. Переходят в модуль NX **«Расширенная симуляция»** (**Начало → Расширенная симуляция**).

Производят настройки диалоговых окон «по умолчанию», выбрав через главное меню **Настройки → Интерфейс пользователя**. На вкладке **Общий** устанавливают **Сброс настроек диалогового окна**, нажимают **ОК**.

3. Для создания конечно-элементной и расчетной моделей выбирают кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**, либо выбирают правой клавишей мыши модель «*.prt» в окне **Навигатор симуляции**, затем выбирают опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция**. Появится диалоговое окно создания FEM файла **Новая конечно-элементная модель и симуляция**. В качестве **Решателя** выбирают **NX THERMAL / FLOW**, тип анализа – **Тепловой**, нажимают **ОК**. Поскольку не предполагается выполнять идеализацию геометрии пластины, то в окне **Новая конечно-элементная модель и симуляция** опция **Создать идеализированную деталь** должна быть выключена, нажимают **ОК**.

Появится новое диалоговое окно создания SIM файла **Решение** (рис. 4.44). Убеждаются, что в окне выбран **Тип решения «Тепловой»**, опция окна **Тип решения** вкладки **Подробности решения** – **Переходный процесс**, нажимают **ОК**. Открывают вкладку **Настройка перехода** этого окна и устанавливают необходимые опции. В частности, на вкладке **Настройка перехода** следует установить **Время завершения** (например, 10 с) и **Параметры шага по времени** – **Автоматически**.

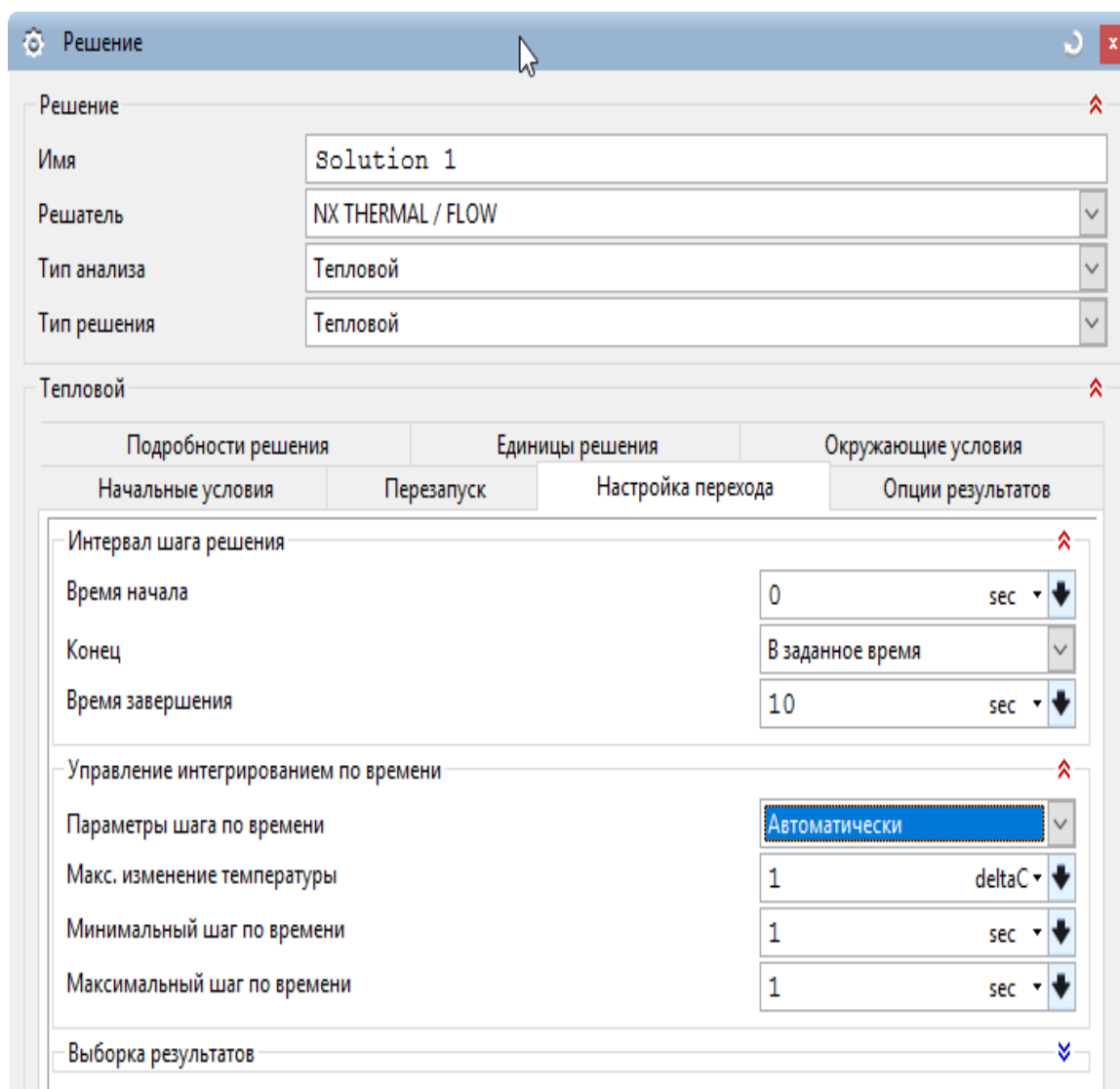


Рис. 4.44. Окно создания SIM файла «Решение»

В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «*_fem1».

4.6.3. Создание конечно-элементной модели

1. Выполняют команду **3D-гексаэдральная сетка** из выпадающего меню **Сетка** (панель инструментов «Расширенная симуляция»). В появившемся окне (см. рис. 3.16) выбирают следующие опции:

– Раздел **Тип** – один из способов построения сетки, например, **До объекта построения**.

– Раздел **Объекты для генерации сетки** – выбирают геометрию пластины. В рамках шага выбирают одну из ее боковых поверхностей размером 100×100 мм. В рамках шага **Выберите грань на целевом теле** выбирают противоположную боковую поверхность.

– Раздел **Свойства элемента** – задают тип гексаэдральной сетки, например CNEXA(8).

– В разделе **Параметры исходной сетки** в поле **Исходный размер сетки** устанавливают значение, меньшее чем толщина пластины, например 2 мм.

– В разделе **Коллектор назначения** включают опцию **Автоматическое создание**.

В окне нажимают **ОК**, после чего система сгенерирует сетку.

2. Задают материал пластины – *Steel*.

В данном случае материал задают из библиотеки материалов. В выпадающем списке **Назначить материалы** выбирают одноименный пункт **Назначить материалы**. В появившемся диалоговом окне **Назначить материалы** (см. рис. 3.29) в разделе **Тип** выбирают пункт **Выбрать тела**, после чего выбирают модель. В разделе **Список материалов** следует выбрать пункт **Библиотека материалов**. Из списка выбирают материал – сталь *Steel*, нажимают **ОК**.

4.6.4. Задание нагрузок и граничных условий

На данном шаге задают граничные условия, в качестве опций решателя **NX THERMAL / FLOW** включают итеративный решатель и запускают расчет.

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*... sim1» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

2. Для задания начального условия выполняют команду **Начальные условия** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «**Расширенная симуляция**»).

В диалоговом окне **Начальные условия** вводят значение начальной температуры, например 80 °С, предварительно нажав левую клавишу мыши и заключив модель пластины в рамку, т. е. выбрав ее в качестве объекта, нажимают **ОК**.

3. Выполняют команду **Конвекция в среде** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «**Расширенная симуляция**»).

В диалоговом окне указывают опции:

- **Выбрать объект** – последовательно выбирают охлаждаемые (боковые) поверхности пластины.

- В соответствующее поле вводят значение коэффициента конвекции (например, 0,05 Вт/(мм² · °С), нажимают **ОК**.

- Раскрывают вкладку **Окружающая жидкость** → **Задать** и вводят значение температуры, например 20 °С.

4.6.5. Расчет температурного поля

Выполняют оценку качества конечно-элементной и расчетной моделей. Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ** → **Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в появившемся диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** во вновь появившемся диалоговом окне.

После завершения работы решателя закрывают все появившиеся окна.

4.6.6. Просмотр результатов расчета температурного поля

В дереве модели окна **Навигатор симуляции** выбирают двойным щелчком левой клавиши мыши вкладку **Результаты**, за счет чего переходят на вкладку **Навигатор постпроцессора** с загруженными результатами. Для просмотра результатов раскрывают вкладку **Solution 1**, выбирают нужный параметр – **Приращение 1, Приращение 2, ...**. Эти параметры соответствуют различным моментам времени, для которых рассчитано температурное поле пластины. Далее раскрывают соответствующую вкладку, выбирают нужный параметр, в данном случае, **Температура**, например, **По узлам**, и выбирают этот параметр двойным щелчком левой клавиши мыши. В появившемся графическом окне отобразится температурное поле.

Из результата расчета следует, что через 2 с после начала охлаждения (Приращение 3) максимальная температура в ее центральной области составляет 36,18 °С, в области периферии – 24,814 °С (рис. 4.45).

Через 7 с после начала охлаждения (Приращение 8) температура незначительно отличается от температуры окружающей среды: максимальная температура в центральной области составляет 20,409 °С, в области периферии – 20,119 °С (рис. 4.46). Можно считать, что время остывания пластины до температуры окружающей среды составляет 7 с.

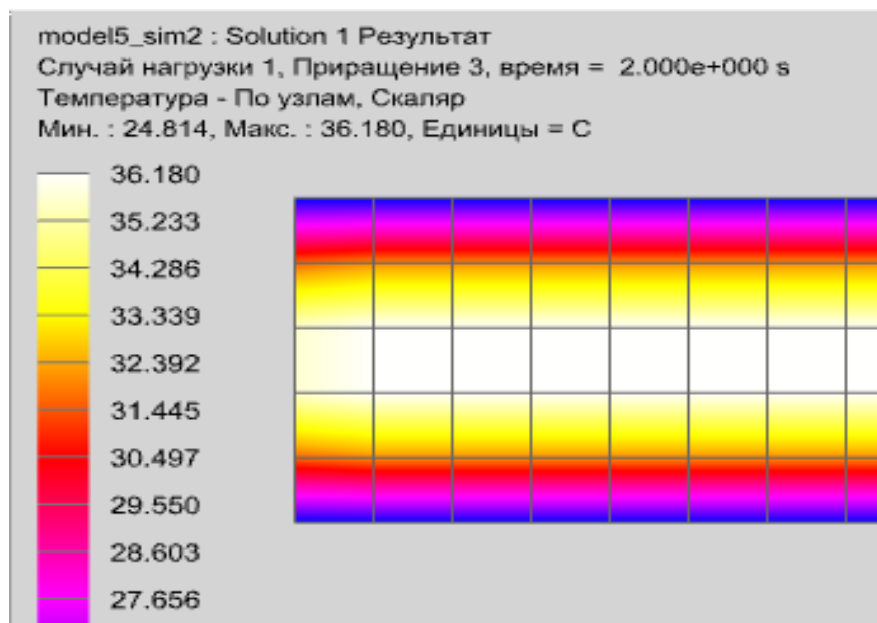


Рис. 4.45. Результат моделирования температуры, время процесса 2 с

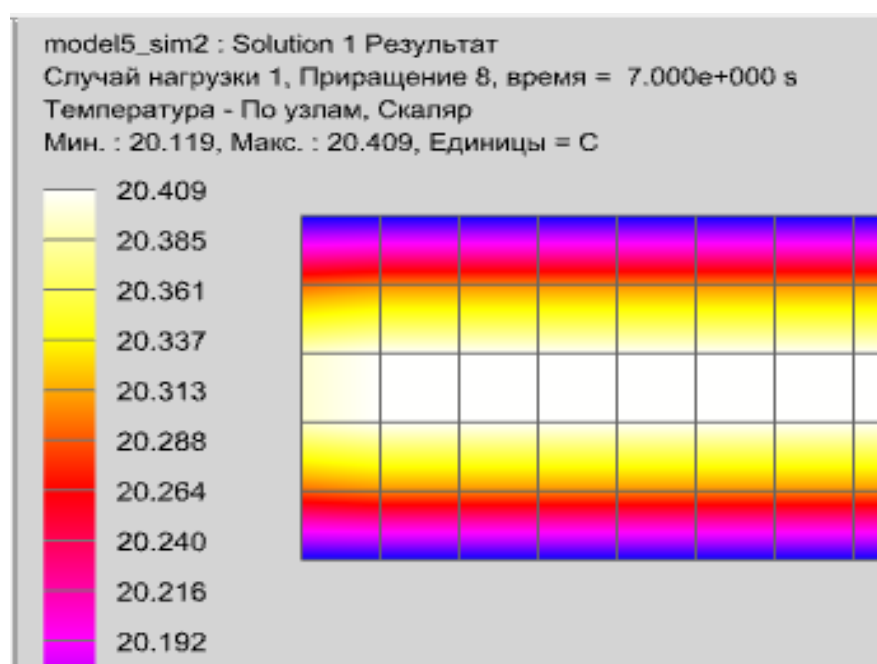


Рис. 4.46. Результат моделирования температуры, время процесса 7 с

4.7. Моделирование температурной деформации резца в процессе точения

4.7.1. Постановка задачи

Практически вся энергия, затрачиваемая на осуществление механической обработки, превращается в теплоту, за счет которой заготовка, инструмент и другие элементы технологической системы нагреваются до высоких температур. Нагрев элементов технологической системы приводит к ее температурным деформациям а, следовательно, влияет на точность обработанных деталей.

Ниже в качестве примера приведены действия, выполняемые при моделировании нестационарного температурного поля и температурной деформации резца. Исходные данные: углы резца $\phi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 7^\circ$; глубина резания $t_r = 1 \text{ мм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; длина контакта стружки с резцом $l_1 = 2,85 \text{ мм} = 2,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; длина контакта задней поверхности резца с заготовкой $l_2 = 0,15 \text{ мм} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Температуры на площадках контакта резца со стружкой $T_1^{\text{ср}} = 680^\circ\text{C}$ и с заготовкой $T_2^{\text{ср}} = 160^\circ\text{C}$ [12].

Принимают допущение, что температура торцевой поверхности резца, расположенной в сечении, в котором резец закреплен в резцедержателе, равна температуре окружающей среды, а температурная деформация этой поверхности равна нулю. Если моделируется процесс точения без применения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), то теплоотдачей с поверхностей резца пренебрегают, т. е. считают эти поверхности адиабатическими. Если используется СОЖ, то коэффициент теплоотдачи можно принять равным $0,05 \text{ Вт}/(\text{мм}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Полагают, что резец изготовлен из однородного материала, физико-механические характеристики которого совпадают с характеристиками материала державки (стержня) резца (сталь 45).

Вначале выполняют тепловой анализ, что дает возможность определить температурное поле резца. Температура резца использу-

ется в дальнейшем при определении его температурных деформаций в процессе статического анализа.

4.7.2. Моделирование температуры резца

Создание CAD-модели резца и новых файлов модели

1. Используя модуль «**Моделирование**» программного комплекса NX, создают модель токарного проходного резца с заданными геометрическими параметрами.

На передней поверхности резца создают эскиз четырехугольника со сторонами, равными длине контакта стружки с резцом l_1 и произведению $t_r \cdot \sin \varphi$, где t_r – глубина резания; φ – главный угол в плане, град. Одна из вершин четырехугольника совпадает с вершиной резца; отрезок длиной l_1 совмещают со вспомогательной режущей кромкой, отрезок длиной $t_r \cdot \sin \varphi$ – с главной режущей кромкой. Затем выполняют операцию вытягивания четырехугольника на расстояние, равное 0,1 мм.

На задней поверхности резца создают эскиз четырехугольника со сторонами, равными длине контакта задней поверхности резца с заготовкой l_2 и произведению $t_r \cdot \sin \varphi$. Одна из вершин четырехугольника совпадает с вершиной резца; отрезок длиной $t_r \cdot \sin \varphi$ совмещают с главной режущей кромкой. Затем выполняют вытягивание четырехугольника на расстояние, равное 0,1 мм (рис. 4.47). Значения l_2 и t_r принимают по данным [12].

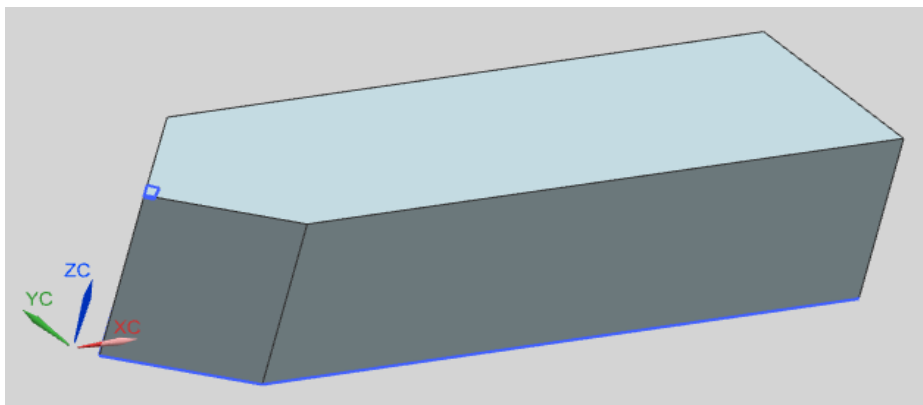


Рис. 4.47. CAD-модель резца

2. Переходят в модуль NX «Расширенная симуляция» (Начало → Расширенная симуляция).

Производят настройки диалоговых окон.

3. Выбирают правой клавишей мыши модель резца «*.prt» в Навигаторе симуляции, или выбирают опцию **Новая конечно-элементная модель и симуляция** для создания конечно-элементной и расчетной моделей. Для создания этих моделей выбирают также кнопку **Новая конечно-элементная модель и симуляция** на панели **Расширенная симуляция**. Появится диалоговое окно создания FEM файла; в качестве **Решателя** выбирают **NX THERMAL / FLOW**, тип анализа – **Тепловой**, нажимают **ОК**. Появится новое диалоговое окно создания SIM файла, убеждаются, что в окне **Решение** выбран **Тип решения – Тепловой**, опция окна **Тип решения** вкладки **Подробности решения – Переходный процесс**, нажимают **ОК**. Открывают вкладку **Настройка перехода** этого окна и устанавливают необходимые опции. В частности, на вкладке **Настройка перехода** следует установить **Время завершения** (например, 600 с) и **Параметры шага по времени – Автоматически**.

В окне **Вид файла симуляции** двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл «*_fem1».

Создание конечно-элементной модели

1. Выполняют команду **3D-тетраэдральная сетка** (панель инструментов **Конечно-элементная модель**), указывают:

– **Выберите тела** – выбирают созданную модель резца двойным щелчком мыши.

– **Тип** – выбирают тип элементов, например **СТЕТРА(4)**.

– **Размер элемента** – 2 ... 4 мм, либо нажимают кнопку – **Автоматический размер элемента**.

– Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание (Коллектор назначения)**, нажимают **ОК**.

2. Задают материал резца – сталь 45, отсутствующий в библиотеке, поэтому следует добавить новый материал с заданными свойствами в локальную библиотеку.

Сталь 45 имеет следующие теплофизические характеристики при температуре 20 °С [10]: плотность – 7826 кг/м³; коэффициент теплопроводности – 48 Вт/(м·К); удельная теплоемкость – 473 Дж/(кг·К).

Чтобы добавить новый материал в библиотеку материалов, в выпадающем списке **Список материалов** выбирают опцию **Управление материалами**. В появившемся окне **Управление материалами** в разделе **Список материалов** устанавливают опцию **Библиотека материалов** (см. рис. 3.18). Чтобы воспользоваться данными материала *Steel* в качестве шаблона, выделяют строку *Steel* и нажимают кнопку – **Копировать выбранный материал**.

В диалоговом окне **Изотропный материал** (см. рис. 3.19) в разделе **Имя-описания** вводят наименование *Steel_45* и характеристики этой стали, при этом для метода задания параметров устанавливают значение **Выражение**. Нажимают **ОК**.

После выполненных действий в появившемся окне **Управление материалами** опция **Список материала** переключается в **Локальные материалы**. Нажимают на кнопку **Заккрыть**.

Задают материал резца – сталь 45. Из выпадающего списка **Список материалов** выбирают пункт **Назначить материал**. В появившемся диалоговом окне **Назначить материал** в разделе **Тип** устанавливают опцию **Выбрать тела** и выбирают модель резца двойным щелчком мыши. В разделе **Список материалов** выбирают опцию **Локальные материалы**. При этом строка *Steel_45* выделяется. Нажимают клавишу **ОК**. Материал резца выбран.

3. При необходимости модель сохраняют.

Задание нагрузок и граничных условий

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*... sim1» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

2. Для задания начального условия выполняют команду **Начальные условия** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «**Расширенная симуляция**»).

В диалоговом окне **Начальные условия** вводят значение начальной температуры, равной 20 °С, предварительно нажав левую клавишу мыши и заключив резец в рамку, т. е. выбрав его в качестве объекта; нажимают **ОК**.

3. Выполняют команду **Температура**.

В появившемся диалоговом окне указывают опции:

– **Выбрать объект** – торец резца, расположенный в сечении, в котором он закреплен в резцедержателе.

– **Температура** – вводят значение температуры, равное 20 °С, нажимают **ОК**.

Аналогичным образом задают температуры $T_1^{\text{ср}}$ и $T_2^{\text{ср}}$ на площадках контакта резца со стружкой и заготовкой соответственно. В данном случае при выборе объектов следует указать на грани, полученные на передней и задней поверхностях резца.

4. Если обработка осуществляется с применением СОЖ, то необходимо задать конвективный теплообмен поверхностей резца с окружающей средой. Для этого выполняют команду **Конвекция в среде** (выпадающее меню **Тип ограничения** панели инструментов «Расширенная симуляция»).

В диалоговом окне указывают опции:

– **Выбрать объект** – последовательно выбирают охлаждаемые поверхности резца.

– В соответствующее поле вводят значение коэффициента конвекции (например, $0,05 \text{ Вт}/(\text{мм}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), нажимают **ОК**.

Выполнение расчета температурного поля

1. Выполняют оценку качества конечно-элементной и расчетной моделей.

2. Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ** → **Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**; в появившемся диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** во вновь появившемся диалоговом окне.

После завершения работы решателя закрывают все появившиеся окна.

Просмотр результатов расчета температурного поля

1. В дереве модели окна **Навигатор симуляции** выбирают двойным щелчком левой клавиши мыши вкладку **Результаты**, за счет чего переходят на вкладку **Навигатор постпроцессора**. Для просмотра результатов раскрывают вкладку **Solution 1**, выбирают нужный параметр – **Приращение 1**, **Приращение 2**, Эти параметры соответствуют различным моментам времени, для которых рассчитано температурное поле резца. Далее раскрывают соответствующую вкладку,

выбирают нужный параметр, в данном случае, **Температура**, например, **По узлам**, и выбирают этот параметр двойным щелчком левой клавиши мыши. В появившемся графическом окне (рис. 4.48) отобразится температурное поле резца.

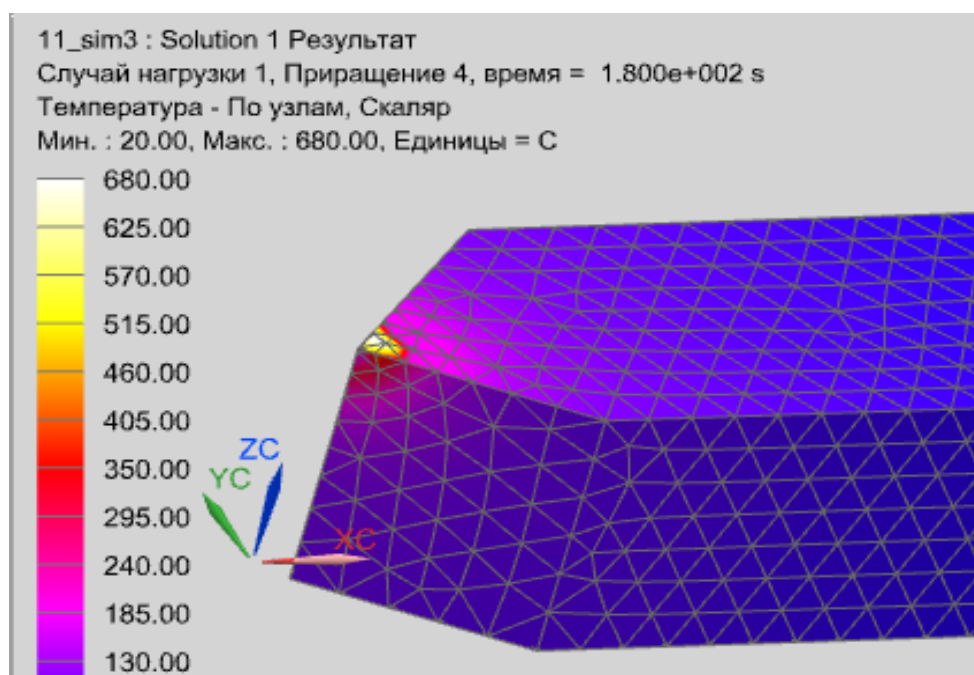


Рис. 4.48. Графическое окно, отображающее результат расчета температурного поля резца (время – 180 с)

2. Для моделирования температурной деформации резца необходимо знать среднее значение его температуры. Для получения этого значения выполняют команду **Вставить** → **Измерения результата**. В открывшемся диалоговом окне **Менеджер измерения результата** (см. рис. 3.43) следует нажать кнопку **Новый**, затем в окне **Измерение результата** (см. рис. 3.44) выбирают нужный параметр – среднее значение, задают латинскими буквами **Имя выражения** и нажимают **ОК**.

Средняя температура резца после 60, 120, 180 и 600 с составила соответственно 34,3, 45, 54,3 и 86 °C (рис. 4.49).

Решение	Количество	Компонент	Операция	Тип выбора	Значение	Един...
Solution 1	Temperature	##11Scalar	Среднее знач...	Модель цели...	sred1=34.292	C
Solution 1	Temperature	##11Scalar	Среднее знач...	Модель цели...	sred2=45.088	C
Solution 1	Temperature	##11Scalar	Среднее знач...	Модель цели...	sred3=54.272	C
Solution 1	Temperature	##11Scalar	Среднее знач...	Модель цели...	sred4=85.976	C

Рис. 4.49. Окно «Менеджер измерения результата» с результатами расчета средних значений температуры

3. Чтобы определить температурное поле резца при других условиях, выполняют команду **Возврат в симуляцию**. Если необходимо изменить значения температур на контактных площадках, выбирают мышью графическое изображение температур на расчетной модели, либо в **Навигаторе симуляции** раскрывают строку **Контейнер ограничений**, выбирают пункт **Temperature** и выполняют пункт меню **Изменить**. После этого вводят их новое значение и повторяют расчеты.

4.7.3. Моделирование температурной деформации резца

Создание новых файлов модели

Для создания новой симуляции после выполнения предыдущей нажимают на кнопку **Возврат в симуляцию** (панель **Расширенная симуляция**). Выбирают правой кнопкой мыши файл модели *_fem2 в окне **Вид файла симуляции** и в появившемся меню выбирают пункт **Новая конечно-элементная модель и симуляция** для создания конечно-элементной и расчетной моделей. В появившемся диалоговом окне создания FEM файла в качестве **Решателя** выбирают **NX Nastran**, тип анализа – **Структурный**, нажимают **ОК**. Появится новое диалоговое окно создания SIM файла, убеждаются, что в окне **Решение** выбран **Тип решения «SOL 101 – Линейный статический анализ»**, нажимают **ОК**.

Создание конечно-элементной модели

1. Выполняют команду **3D-тетраэдральная сетка** (панель инструментов **Конечно-элементная модель**), указывают:

- **Выберите тела** – выбирают созданную модель детали двойным щелчком мыши.

- **Тип** – выбирают тип элементов, например **СТЕТРА(4)**.

- **Размер элемента** – 2 ... 4 мм, либо нажимают кнопку – **Автоматический размер элемента**.

- Убеждаются, что включена опция **Автоматическое создание (Коллектор назначения)**, нажимают **ОК**.

2. Добавляют новый материал – сталь 45 в локальную библиотеку материалов и назначают этот материал для резца.

Задание нагрузок и граничных условий

1. Двойным нажатием левой клавиши мыши выбирают файл симуляции «*...sim2» в окне **Вид файла симуляции** и открывают расчетную модель.

2. Для задания ограничения на степени свободы выполняют команду **Заделка**. Появляется диалоговое окно с опцией **Выбрать объект**. Для выбора объекта указывают на торцовую поверхность резца, противоположащую его вершине (двойным нажатием левой клавиши мыши), нажимают **ОК**.

3. Прикладывают к резцу температурную нагрузку, для чего из выпадающего меню **Тип нагрузки** (панель инструментов «**Расширенная симуляция**») выбирают команду **Температурная нагрузка**.

В диалоговом окне указывают:

– **Выбрать объект** – нажимают левую клавишу мыши и заключают резец в рамку, выбирая его таким образом в качестве объекта.

– **Температура** – вводят среднюю температуру резца, полученную в результате выполнения пункта 4.7.2, равную 34,3 °С.

– Нажимают **ОК**.

В результате создается расчетная модель резца.

Выполнение анализа

1. Выполняют проверку качества конечно-элементной и расчетной моделей.

2. Для запуска решения выполняют команду **Решение** или **Анализ** → **Вычисления**, либо указывают правой клавишей мыши на вкладку **Solution 1** в окне **Навигатор симуляции**, в появившемся диалоговом окне выбирают опцию **Решить** и нажимают **ОК** в появившемся диалоговом окне.

3. После завершения работы решателя NX **Nastran** закрывают все появившиеся окна.

Просмотр результатов анализа

1. В дереве модели окна **Навигатор симуляции** выбирают двойным нажатием левой клавиши мыши вкладку **Результаты**. Раскрывают вкладку **Solution 1**, выбирают нужный параметр, в данном случае **Перемещение - По узлам**, выбирают направление, например, перемещение вдоль оси *X*, и нажимают двойным щелчком левой клавиши мыши.

В появившемся графическом окне (рис. 4.50) отобразится деформированное в данном направлении состояние резца. Из результатов моделирования следует, что при данных условиях максимальная деформация резца составляет 0,049 мм.

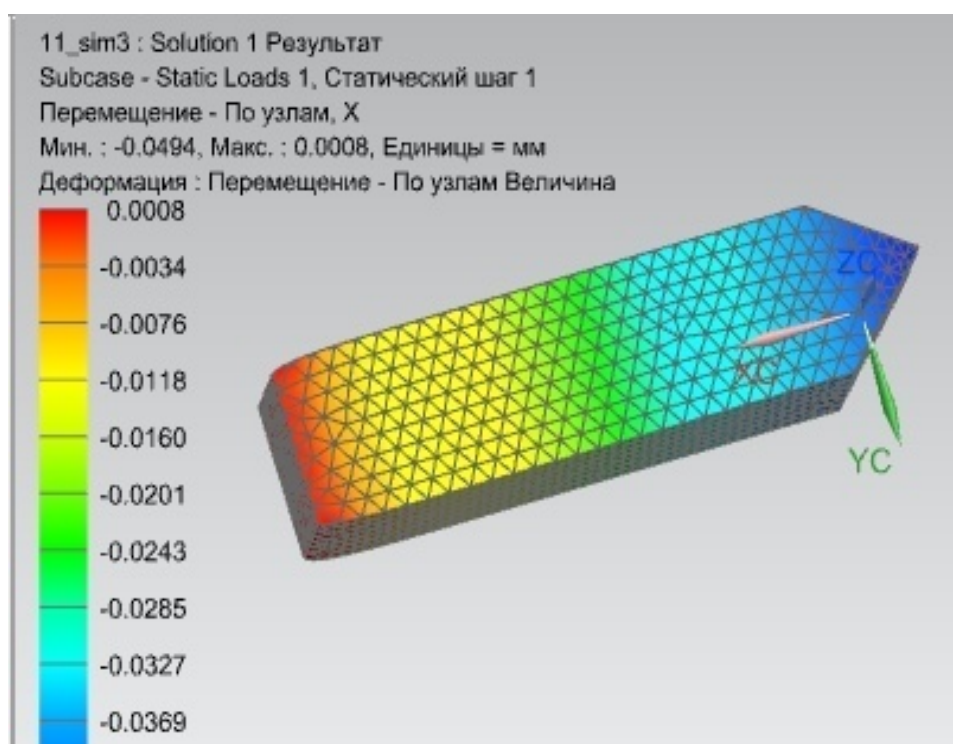


Рис. 4.50. Графическое окно, отображающее результат расчета температурной деформации резца (время – 60 с, температура – 34,3 °С)

2. Чтобы определить температурную деформацию резца при других условиях, выполняют команду **Возврат в симуляцию**. Если необходимо изменить значения средней температуры резца, то в **Навигаторе симуляции** раскрывают строку **Контейнер нагрузки**,

выбирают пункт **Temperature** и выполняют пункт меню **Изменить**. После этого вводят новое значение температуры и повторяют расчеты.

При средних значениях температуры резца 34,3, 45 и 54,3 °C получена деформация 0,049, 0,064 и 0,077 мм.

Другим параметром, полученным в результате выполнения статического анализа, являются напряжения. Из рис. 4.51 следует, что максимальные напряжения возникают в месте закрепления резца в резцедержателе и составляют 265 МПа, т. е. напряжения ниже предела текучести материала резца.

При расчете динамических размерных цепей необходима информация о деформации деталей, размеры которых являются составляющими звеньями цепей.

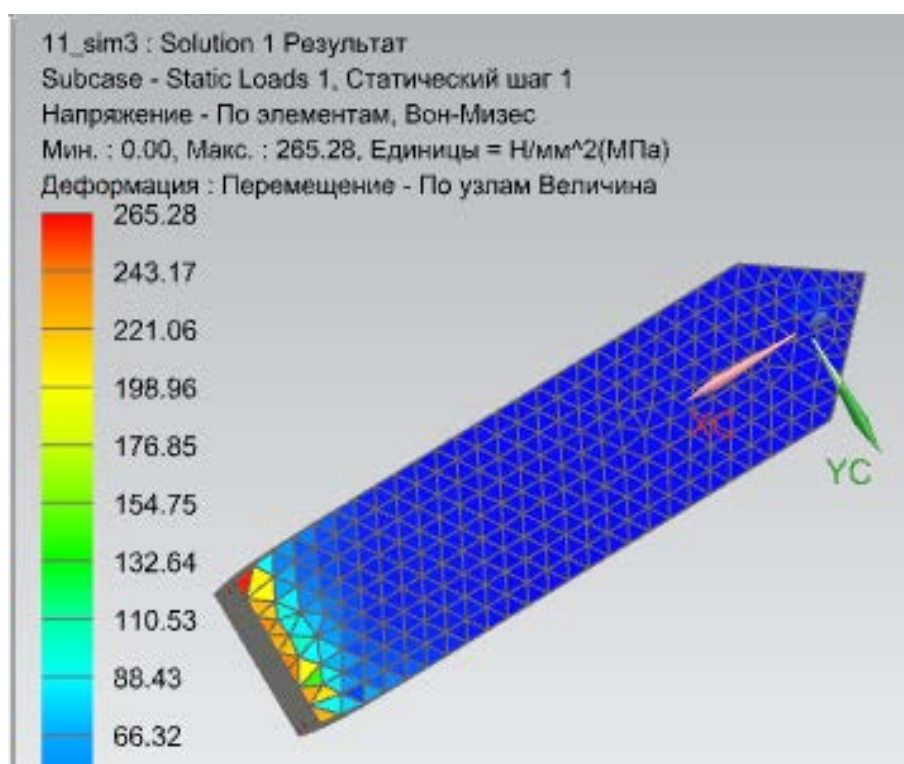


Рис. 4.51. Графическое окно, отображающее результат расчета напряжений в резце (время – 180 с, температура – 54,3 °C)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первом разделе рассмотрены вопросы создания трехмерных моделей деталей на примерах создания моделей корпуса и фланца. Выполнено подробное описание используемых при этом инструментов САПР Siemens NX.

Во втором разделе приведен типовой порядок создания модели сборочной единицы по методу «снизу вверх» с пояснением сути использованных команд системы NX.

В третьем разделе пособия рассмотрены возможности программного комплекса NX при выполнении расчетов (анализе объектов) и приведены основные этапы анализа. Приведены приемы создания идеализированной геометрической модели объекта и создания качественной сетки на этапе разработки КЭ-модели. Рассмотрены два варианта задания материала объекта и его свойств: с использованием библиотеки материалов и задание нового материала в локальную библиотеку. Даны понятия нагрузок и ограничений и изложена последовательность действий для их задания при выполнении анализа.

Приведены возможности системы, используемые при анализе результатов расчета, в том числе представление результатов в графической форме. Показано, каким образом можно выполнить возврат к одному из предыдущих этапов расчета с целью изменения опции решения, КЭ-модели, либо геометрической формы объекта.

В четвертом разделе приведены примеры решения задач. На четырех примерах рассмотрен структурный анализ объектов (валов, вилки и пластины), в результате которого определяются деформации и напряжения (подразделы 4.1. 4.2 и 4.3) и выполнен анализ устойчивости (4.4); тепловой анализ (моделирование стационарного и нестационарного температурного поля) показан на двух примерах (4.5 и

4.6); моделирование температурного поля и тепловой деформации резца приведено на примере подраздела 4.7.

Изложенные примеры позволят получить умения и навыки решения практических задач, возникающих при проектировании изделий с помощью программного комплекса NX.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Басов, К.А. ANSYS для конструкторов / К.А. Басов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 248 с.
2. Гончаров, П.С. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ / П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов, С.В. Денисихин, Д.Е. Сотник. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с.
3. Гончаров, П.С. NX Advanced Simulation. Практическое пособие / П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов, С.В. Денисихин, Д.Е. Сотник. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 112 с.
4. Гончаров, П.С. NX для конструктора-машиностроителя / П.С. Гончаров, М.Ю. Ельцов, С.Б. Коршиков, И.В. Лаптев, В.А. Осюк. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 504 с.
5. Данилов, Ю.В. Практическое использование NX / Ю.В. Данилов, И.А. Артамонов. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 332 с.
6. Ельцов, М.Ю. Основы расчета изделия на прочность в приложении NX Расширенная симуляция / М.Ю. Ельцов, П.А. Хахалев. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 207 с.
7. Ицкович Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов / Г.М. Ицкович, А.С. Минин, А.И. Винокуров. – М.: Высш. шк., 1999. – 592 с.
8. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.
9. Колдаев, В.Д. Численные методы и программирование: учебное пособие / В.Д. Колдаев; под ред. Л.Г. Гагариной. – М. : ИД «ФОРУМ»: ИНФА-М, 2009. – 544 с.
10. Марочник сталей и сплавов / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский [и др.]; под общ. ред. А.С. Зубченко. – 2-е изд., доп. и испр. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

11. Прочность, устойчивость колебаний: справочник: в 3 т. Т. 3 / под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 567 с.

12. Унянин, А.Н. Лабораторные работы по дисциплине «Методы моделирования физических и тепловых процессов механической обработки материалов»: учебное пособие; под ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 118 с.

13. Худобин, Л.В. Базирование заготовок при механической обработке: учебное пособие / Л.В. Худобин, М.А. Белов, А.Н. Унянин. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 248 с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Вопросы к главе 1

- 1) Назовите основные инструменты, используемые при построении модели.
- 2) Опишите порядок создания эскиза детали в САПР Siemens NX.
- 3) За какие действия отвечает команда «Вытягивание»?
- 4) Какой модуль САПР Siemens NX предназначен для создания модели детали?
- 5) Опишите порядок преобразования прямой во вспомогательный элемент.
- 6) Как выполнить скругление ребра?
- 7) Каков порядок применения команды «Круговой массив»?
- 8) Как выполнить поворот плоскости?
- 9) Перечислите последовательность действий, выполняемых при создании типовых отверстий.
- 10) Как выполнить симметричное копирование твердого тела?

Вопросы к главе 2

- 1) Назовите три способа построения сборки и области их применения.
- 2) Какой модуль САПР Siemens NX предназначен для создания сборки?
- 3) Перечислите типы сопряжений, используемых при создании сборок.
- 4) Опишите процедуру добавления детали в пространство сборки.
- 5) Как задать расположение детали в пространстве сборки?
- 6) Перечислите последовательность действий, выполняемых при создании массива компонентов.
- 7) Как включить фиксацию объекта?

8) Как перенести стандартные крепежные изделия из сторонней САПР в Siemens NX?

Вопросы к главе 3

- 1) В чем заключается сущность метода КЭ?
- 2) Дайте определение узловой точки.
- 3) Какие решатели использует модуль NX **«Расширенная симуляция»**?
- 4) Перечислите основные типы анализа, доступные в решателе NX **Nastran**.
- 5) Что понимают под терминами «мастер-модель», «идеализированная модель», «КЭ-модель», «симуляция»?
- 6) С какой целью выполняют идеализацию геометрии модели объекта?
- 7) Какие задачи решают на этапе создания идеализированной геометрии модели?
- 8) Перечислите последовательность действий, выполняемых на этапе создания идеализированной геометрии модели?
- 9) Какие задачи решают на этапе создания КЭ модели?
- 10) Какие команды используют при генерации сеток КЭ?
- 11) Перечислите последовательность действий при генерации и редактировании сеток КЭ в среде NX **«Расширенная симуляция»**.
- 12) Какие конечные элементы можно использовать при генерации сеток трехмерных объектов?
- 13) В каких случаях следует использовать гексаэдральную сетку КЭ?
- 14) Какие команды используют при задании свойств материала модели объекта?
- 15) Каким образом задается материал объекта при использовании стандартной и локальной библиотеки материалов?

- 16) Какие задачи решают на этапе создания расчетной модели?
- 17) Что понимают под терминами «ограничение» и «нагрузка» при работе в среде NX **«Расширенная симуляция»**?
- 18) Какие команды используют при задании нагрузок и ограничений?
- 19) Перечислите последовательность действий при задании ограничений и нагрузок в среде NX **«Расширенная симуляция»**.
- 20) Приведите последовательность действий при задании сосредоточенной силы в точке, расположенной на грани объекта.
- 21) Приведите последовательность действий при задании распределенной нагрузки, действующей на части грани объекта.
- 22) Какие действия следует выполнить для оценки качества КЭ и расчетной моделей перед решением задачи?
- 23) Перечислите последовательность действий, необходимых для представления результата расчета в графической форме.
- 24) Перечислите последовательность действий, необходимых для возврата к одному из предыдущих этапов расчета (симуляции).
- 25) Какие действия следует выполнить для управления формой аннотации с результатами расчета?

Вопросы к главе 4

- 1) Перечислите последовательность действий при моделировании в среде NX **«Расширенная симуляция»** формы и напряжений в детали.
- 2) Какие нагрузки и ограничения используют при моделировании в среде NX **«Расширенная симуляция»** формы и напряжений в детали?
- 3) Перечислите последовательность действий при моделировании в среде NX **«Расширенная симуляция»** температурной деформации резца.

4) Какие исходные данные необходимы для моделирования в среде NX **«Расширенная симуляция»** температурной деформации резца?

5) Перечислите последовательность действий при моделировании в среде NX **«Расширенная симуляция»** стационарного температурного поля.

6) Какие нагрузки и ограничения используют при моделировании в среде NX **«Расширенная симуляция»** стационарного температурного поля?

7) Перечислите последовательность действий при моделировании в среде NX **«Расширенная симуляция»** нестационарного температурного поля.

8) Какие нагрузки и ограничения используют при моделировании в среде NX **«Расширенная симуляция»** нестационарного температурного поля?

9) В чем заключается сущность анализа устойчивости деталей?

10) Перечислите последовательность действий при анализе в среде NX **«Расширенная симуляция»** устойчивости деталей.

ОСНОВНЫЕ ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПОНЯТИЯ (ГЛОССАРИЙ)

Автоматическое исправление геометрии – действия, позволяющие автоматически обнаружить и исправить проблемные зоны полигональной геометрии.

Ассоциативная копия исходной модели – адаптированная для выполнения КЭ-анализа конструкторская CAD-модель объекта.

Идеализированная модель – модель, содержащая упрощенную (идеализированную) геометрию изучаемого объекта.

Конечно-элементная модель – модель, содержащая данные об узлах сетки, элементах, о свойствах материала изучаемого объекта.

Конечный элемент – геометрический элемент, совокупностью которых представляется объект.

Мастер-модель – модель, содержащая неизменяемую исходную геометрию изучаемого объекта.

Метод конечных элементов – метод решения задач, основанный на замене исследуемой системы дискретным множеством элементов, на каждом из которых исследуемая непрерывная величина аппроксимируется кусочно-непрерывной функцией.

Модель – любой образ (мысленный или условный, изображение, описание, схема, чертеж, график, карта и т. п.) объекта, процесса или явления («оригинала» данной модели), используемый в качестве его «заменителя» или представителя.

Нагрузка – процессы на поверхности объекта и внутри него, в частности, приложение к объекту сосредоточенных или распределенных сил и моментов, тепловых потоков и др.

Назначение материала – действия, позволяющие назначать материалы объектам из списка материалов, которые находятся во встроенной библиотеке NX, либо в библиотеке, созданной пользователем.

Начальные условия – задают физические условия в начальный момент времени, принятый за начало отсчета.

Ограничение – процессы на поверхности объекта и внутри него, в частности, ограничение всех или некоторых степеней свободы (перемещений и вращений) изучаемого объекта, температуры и др.

Симуляция – модель, содержащая данные о нагрузках, граничных условиях и решении, а также результаты расчета.

Сетка конечных элементов – совокупность элементов, связанных между собой узлами.

Температурная деформация – деформация, являющаяся следствием изменения температуры (температурного поля) объекта.

Температурное поле – совокупность значений температур в различных точках объекта (системы объектов) в данный момент времени.

Узловая точка – точка, в которой определенное значение исследуемой величины аппроксимируется кусочно-непрерывной функцией.

CAD-системы (computer-aided design) – компьютерная поддержка проектирования, предназначенная для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации.

CAE-системы (computer-aided engineering) – компьютерная поддержка проектирования для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения продукта для оптимизации его конструкции.

3D-тетраэдральная сетка – обеспечивает создание сетки с помощью тетраэдральных (STETRA4, STETRA10) и пирамидальных конечных элементов, содержащих 5 ... 13 узлов.

3D-гексаэдральная сетка – для создания структурированной 3D-гексаэдральной сетки с помощью элементов CHEXA8 и CHEXA20.